

“Muro panel compuesto en guadua para vivienda”

Modelo experimental de muro panel en guadua para vivienda en la zona cafetera

Renato Cassandro Cajiao¹

Universidad Católica de Colombia. Bogotá (Colombia)

Facultad de Diseño, Maestría Diseño Sostenible

Director.

Arquitecto. PhD. Claudio Varini.

Bogota D.C. Octubre 2017

¹ Arq. Renato Cassandro. Correo institucional: rcassandro@ucatolica.edu.co *Correo personal:* cassandrocol@hotmail.com . Egresado de la Universidad Católica De Colombia y docente de la misma en el área de diseño constructivo.

Licencia Creative Commons



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Resumen.

El fenómeno del cambio climático, producto del consumo de energía debido a la actividad antrópica y su consecuente contaminación ambiental, puede ser mitigado mediante una atenta selección de materiales de larga vida y bajo impacto ambiental.

La presente investigación plantea la factibilidad de una alternativa sostenible que remplace materiales convencionales de envolvente para vivienda, utilizando superficies compuestas por materiales de desecho de una gramínea ampliamente utilizada en la construcción tradicional en Colombia.

Se propone un panel compuesto SIP (Structural Insulated Panels – Panel térmico estructural), donde se utilizan como superficies a la vista aglomerados compuestos por residuos de guadua y un separador interno de cartón reciclado, que son productos naturales y renovables.

El diseño y fabricación de los modelos experimentales de la propuesta se realizaron partiendo de referentes existentes en el mercado internacional, de los cuales se simuló el comportamiento térmico y acústico, con base en las respectivas especificaciones técnicas, tomando como referencia la zona climática de Pereira (Risaralda).

Dicho análisis sirvió como guía para el desarrollo de los modelos que fueron también simulados y sometidos a pruebas de laboratorio de resistencia a la compresión y aislamiento acústico. La información resultante permitió demostrar la viabilidad de la propuesta descrita, en cuanto a disponibilidad del material, transformación y resultados positivos de resistencia, aislamiento térmico y acústico, como se expresa en las conclusiones finales de la investigación donde se plantean además algunas observaciones que permitan optimizar aún más los resultados.

Palabras clave

Bambú, guadua, residuo, envolverte, reciclaje.

Wall panel composite in Bamboo (gradual) for housing.

Abstract.

The phenomenon of climate change, caused by the consumption of power due to human activity and its consequent environmental pollution, can be mitigated through a careful selection of materials for long life and low environmental impact.

This research raises the feasibility of a sustainable alternative that replace conventional materials of enclosure for housing, using surfaces composed of a grass widely used scrap materials in the traditional construction in Colombia.

Proposes a composite panel SIP (Structural Insulated Panels - structural thermal Panel), where are used as surfaces to view composed of residues of bamboo clumps and an internal separator of recycled cardboard, which are natural and renewable products .

Design and manufacture of experimental models of the proposal were carried out on the basis of references in the international market, which was simulated thermal and acoustic, behavior based on the respective technical specifications, taking as reference the climatic zone of Pereira (Risaralda).

This analysis served as guide for the development of models that were also simulated and laboratory tests of resistance to compression and sound insulation. The resulting information allowed to demonstrate the feasibility of the proposal described in terms of availability of material, transformation and positive results of resistance, thermal and acoustic insulation, as expressed in the conclusions of the research where there are also some observations that allow further optimize the results.

Key words: bamboo, bamboo, residue, envelope and recycling.

Contenido

| | pág. |
|-------------------------------------|------|
| Introducción | 12 |
| Justificación | 14 |
| Descripción Del Problema | 16 |
| Pregunta De La Investigación | 17 |
| Objetivo | 17 |
| Objetivo General | 17 |
| Objetivos Específicos | 18 |
| Antecedentes | 19 |
| Contexto | 21 |
| Metodología | 23 |
| Etapas 1. | 24 |
| Etapas 2 | 25 |
| Etapas 3 | 25 |
| Etapas 4 | 25 |
| Resultados | 26 |
| Etapas 1. Documentación Paneles Sip | 26 |
| Historia Del Sip | 26 |
| Componentes Del Panel Sip | 27 |
| Osb Manual | 28 |
| Tableros Osb | 28 |
| Núcleo Aislante Interno | 29 |
| Resistencia Térmica | 29 |

| | |
|---|----|
| Componentes Sistema Sip | 30 |
| Etapas 2. Referentes Sip. | 30 |
| Etapas 3. Propuestas De Los Modelos | 37 |
| Modelo 1 | 38 |
| Proceso De Fabricación Ensayos | 39 |
| Características | 41 |
| Simulación Térmica | 42 |
| Simulación Acústica | 43 |
| Ensayos De Laboratorio Modelo 1 | 45 |
| Pruebas Acústicas | 45 |
| Aislamiento Global De La Superficie | 46 |
| Pruebas De Resistencia A Compresión | 47 |
| Modelo 2 | 48 |
| Materiales, Herramienta Y Equipos | 48 |
| Proceso De Fabricación Ensayos | 49 |
| Características | 51 |
| Simulación Térmica Modelo 2 | 52 |
| Simulación Acústica | 53 |
| Análisis De Laboratorio Modelo 2 | 54 |
| Etapas 4 Evaluación De Resultados | 56 |
| Resultados Térmicos | 56 |
| Resultados Aislamiento Acústico | 57 |
| Situación Actual De La Industria De La Guadua En Colombia | 58 |
| Conclusiones | 59 |
| La Materia Prima | 59 |

| | |
|----------------------|----|
| El Aislante | 60 |
| Aislantes | 60 |
| Protección Exterior. | 61 |
| Los Tableros Osb. | 61 |
| Uniones O Empalmes | 61 |
| Referencias | 64 |

Lista de Figuras

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Elementos extraídos para la construcción | 12 |
| Figura 2. Primera transformación en materia prima de la Guadua en la Empresa Induguadua en la tebaida – Armenia. | 13 |
| Figura 3. Panel compuesto de construcción ligero "Eurolight" del fabricante Egger. | 14 |
| Figura 4. Fabrica INDUGUADUA, guadua recortada en forma de canoa para la venta y muestra de aserrín y astillas exceso después del recorte | 20 |
| Figura 5. Mapa conceptual del desarrollo de la investigación | 24 |
| Figura 6. Panel Structural Insulated Panel (SIP's) | 26 |
| Figura 7. Orientación cruzada de virutas en panel SIP | 27 |
| Figura 8. Capas de viruta externas orientadas en el sentido longitudinal y dos internas, cruzadas en el sentido perpendicular. | 28 |
| Figura 9. Sistema SIP, componentes. | 30 |
| Figura 10. Gráfico de Temperaturas máximas y mínimas promedio anual. | 31 |
| Figura 11. Gráfico Temperaturas interiores máximas | 35 |
| Figura 12. Gráfico Temperaturas interiores mínimas | 35 |
| Figura 13. Esquema ciclo de vida. | 38 |
| Figura 14. Fibra de guadua reciclada y tubos de cartón reciclados | 39 |
| Figura 15. Proceso de fabricación del tablero. Empresa MUISKAY | 40 |
| Figura 16. Diagrama de Bode simulación acústica Modelo 1, Software DBKAISLA. | 44 |
| Figura 17. Procedimiento simulación acústica en laboratorio. | 45 |
| Figura 18. Resultados obtenidos del aislamiento interno vs exterior. | 46 |
| Figura 19. Equipos Utilizados para el Laboratorio de Acústica de los Paneles Propuestos | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 20. Equipos Utilizados (prensa hidráulica) para Pruebas de Resistencia de Carga Horizontal y Carga Vertical del Modelo 1 | 48 |
| Figura 21. Cartón nido de abeja. | 49 |
| Figura 22. Proceso de fabricación de probetas y tablero. Laboratorio PRIMADERA SAS. | 50 |
| Figura 23. Diagrama de Bode simulación acústica modelo 2, Software DBKAISLA. | 54 |
| Figura 24. Diagrama de Bode comparativo Modelo 1 y 2, Software DBKAISLA | 58 |
| Figura 25. Marco Conceptual Aplicado a la Transformación de la Guadua | 59 |
| Figura 26. Composición de los Tableros del Referente y las Propuestas 1 y 2. | 61 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Valores característicos y límites de exposición del formaldehído | 22 |
| Tabla 2. Características referentes paneles SIP. | 32 |
| Tabla 3. Datos térmicos SIP datos térmicos paneles referentes | 33 |
| Tabla 4. Resultados de transferencia de calor por conducción bidimensional de acuerdo a los componentes de los paneles | 34 |
| Tabla 5. Simulación acústica de los referentes. Software DBKAISLA. | 36 |
| Tabla 6. Modelo 1 panel compuesto propuesta | 41 |
| Tabla 7. Simulación Térmica Modelo 1. | 42 |
| Tabla 8. Simulación acústica Modelo 1. | 43 |
| Tabla 9. Nivel de Ruido Exterior Vs. Nivel Interior del Panel y su Porcentaje de Absorción Modelo 1 | 46 |
| Tabla 10. Prueba de resistencia Horizontal y vertical del modelo 1. | 47 |
| Tabla 11. Modelo 2 paneles. Ficha Técnica. | 51 |
| Tabla 12. Simulación térmica Panel 2 | 52 |
| Tabla 13. Simulación acústica Panel 2. | 53 |
| Tabla 14. Nivel de Ruido Exterior Vs. Nivel Interior del Panel y su Porcentaje de Absorción Modelo 2 | 55 |
| Tabla 15. Prueba de resistencia Horizontal y vertical del modelo 2 | 55 |
| Tabla 16. Resultados simulaciones térmicas. | 57 |
| Tabla 17. Resultados simulaciones acústicas | 57 |

Introducción

El presente trabajo de investigación se enfocó en el aprovechamiento del bambú guadua, el cual crece en condiciones específicas climáticas tropicales de temperatura cálida templada del planeta, donde Colombia hace parte de manera representativa. Es utilizada en la construcción por sus buenas propiedades físicas y técnicas, tanto que desde la época prehispánica (con la especie nativa “La guadua Angustifolia”), fue protagonista en la construcción de la vivienda de pequeñas poblaciones y zonas periféricas de las ciudades (Varela & Chaviano, 2013).

La guadua en su proceso de transformación para la fabricación de varas, canoas, latas, latillas o fibras, produce un gran porcentaje de residuos que generalmente son utilizados como combustible o transformados en carbón vegetal produciendo mayor contaminación ambiental.

El objetivo específico de investigación, parte de la utilización de este material residual resultante, que significa aproximadamente el 40% del total de la guadua (véase las Figuras 1 y 2).

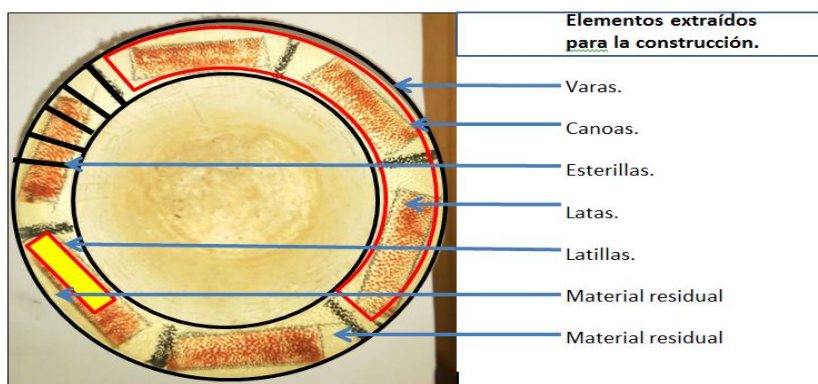


Figura 1. Elementos extraídos para la construcción

Fuente: : Autor (2017)



Figura 2. Primera transformación en materia prima de la Guadua en la Empresa Induguadua en la tebaida – Armenia.

Fuente: Autor (2017)

Transformándolo en virutas y hojuelas para la fabricación de los tableros OSB (Oriented Strand Board) como superficies externas principales del panel SIP (Structural Insulated Panel) o panel térmico estructural (véase la Figura 3) e internamente conformado por un aislante en cartón reciclado en tubos de cartón de los rollos de papel higiénico y el honeycomb o panel panal de abeja hexagonal. Y de esta manera se realizaron los modelos físicos experimentales de la investigación y de consulta proyectados a una posible producción.



Figura 3. Panel compuesto de construcción ligero "Eurolight" del fabricante Egger.

Fuente: Egger Inspiración Eurolight (2017).

Justificación

El continuo crecimiento de la población mundial y su demanda de vivienda hace que su construcción sea un tema de investigación constante en la búsqueda de optimizar sus materiales referidos a su resistencia, durabilidad, funcionalidad, economía, de bajo impacto ambiental y consumo energético en su ciclo de vida.

Reemplazar los materiales convencionales de la construcción de viviendas por materiales naturales renovables como la guadua en lugares donde existe su cultivo y producción significa una respuesta tangible de sostenibilidad social y económica, ya que su industrialización tendrá beneficios en la generación de empleo y en bajos costes de construcción habitacional.

La importancia de este árbol en la construcción y la industria en Colombia es evidente y con futuro promisorio. Según afirma Giraldo (2003) “En Colombia aproximadamente 100.000 personas derivan su sustento del aprovechamiento, manejo y comercialización de la Guadua laborables en la semana” (p. 19), además es una materia prima económica reconocida en el

mundo por sus cualidades y bondades. Sus beneficios van desde su plantación como la mejor captadora de contaminantes de CO₂, hasta su generación de oxígeno, rápido crecimiento, multiplicidad de aplicaciones desde la construcción, textilería, ornamentación y medicina.

Las Corporaciones Autónomas regionales son las entidades encargadas de velar por el cuidado y aprovechamiento de los recursos naturales por medio del Decreto 1076 De 2015, "Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible" (Decreto 1076 de 2015) y el Estatuto Forestal de la región el cual reglamenta los aprovechamientos de ésta y de otras especies. En este caso la entidad reglamenta el manejo sostenible de la guadua desde sus plantaciones hasta la ejecución de proyectos que permitan su desarrollo con beneficio económico y social para las regiones donde existen la mayor cantidad de plantaciones, llamado el eje Cafetero que comprenden los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, Tolima y Valle del Cauca. (Mejía & Moreno, 2013).

De acuerdo a una visita de campo que se realizó a mediados de Junio del año 2017 a las fábricas o industrias Induguadua en la Tebaida y Armeideas en guadua en Calarcá localizadas en la zona cafetera, se pudo evidenciar que el porcentaje de residuos resultantes oscilaban entre un 30 a 40% confirmando que en la mayoría de los casos estos son utilizados como combustible para el proceso de secado de la misma guadua y/o la elaboración de carbón, produciendo gran cantidad de CO₂ y contaminando aún más el ambiente.

Por tal razón, es prioritario proponer, alternativas de utilización de los residuos que no contaminen y se aprovechen sus grandes cualidades, físicas, mecánicas y estéticas para una diversidad de usos.

Descripción del Problema

La preocupación mundial por el cambio climático, la contaminación ambiental y el aumento de la población nos obliga a la búsqueda permanente de alternativas y/o soluciones más eficientes de sostenibilidad desde su proceso de producción, fabricación, utilización, reciclaje hasta la reducción de consumo energético, con la mínima producción de emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes.

En los materiales convencionales para la construcción como cemento, concreto, arcilla y PVC, el impacto ambiental y consumo energético representa una de las grandes preocupaciones mundiales y que nos hace repensar la arquitectura de la edificación volviendo a sus orígenes sector de la construcción, utilizar materiales locales con bajos costos energéticos y un bajo impacto ambiental.

En la historia de Colombia los asentamientos subnormales de la población entorno a las ciudades principales, la guadua fue y es de presencia constante y representativa, siendo uno de los motivos que dio paso al despectivo término de madera de pobres (Colorado, s.f.).

La idea generalizada que la guadua no ofrecía seguridad para construcciones complejas y que su uso debía limitarse únicamente a viviendas de tipo popular caló de tal forma en los arquitectos e ingenieros, que durante años desconocieron testimonios históricos que hablaban de una tradición que se desarrolló desde finales del siglo XIX, en la que fue precisamente el bambú el material preferido para construir y contrarrestar los sismos que sacudían la región cafetera y otras zonas de similares condiciones en el país. (Colorado, s.f.).

Hoy por hoy podemos decir que estos antecedentes han despertado en profesionales, técnicos, investigadores y cultivadores una visión futurista de proyección hacia el aprovechamiento de este recurso natural, renovable y sostenible, que hace urgente su materialización de proyectos puntuales.

Pregunta de la Investigación

¿Es posible que a la guadua se le apliquen usos no convencionales en el campo de la construcción, en beneficio de un crecimiento industrializado sostenible?

¿Cómo reivindicar la condición de un material de tradición cultural que enaltezca sus valores formales, estéticos y físicos para usos constructivos, dentro de un medio que exige cada vez mayor eficiencia?

¿Cuál es la evaluación de la guadua residual reciclada para el desarrollo de la construcción como generador de espacios de confort en la vivienda?

Objetivo

Objetivo General

Diseñar un modelo físico de muro liviano tricapa tipo panel SIP (Panel térmico estructural) elaborado con tableros OSB, usando como materia prima el residuo de guadua, para ser utilizado como envolvente externo de la vivienda en la región cafetera, que remplace materiales convencionales y represente una alternativa sostenible.

Objetivos Específicos

1. Analizar a través de simulación térmica y acústica con los Software THERM 7.5, Opaque 3.0 y DBKAISLA 3.01 respectivamente los paneles SIP comerciales constituidos por tableros OSB y un aislante intermedio, que indiquen su nivel de confort térmico y acústico.
2. Identificar las características generales que debe tener un panel SIP de tableros OSB de acuerdo a los resultados obtenidos en las simulaciones de los referentes aplicados a la condicion climatica de Pereira.
3. Determinar (segun los procesos de fabricacion existentes para La elaboracion de tableros Osb en Pino y abeto) las alternativas de acuerdo a nuestras condiciones, dos procesos de fabricacion experimentales utilizando La hojuela o viruta de guadua, variando su adhesivo y equipo utilizado.
4. Analizar y seleccionar un material aislante alternativo reciclado natural renovable, que remplace el EPS (Expanded Polystyrene) Poliestireno Expandido.
5. Evaluar a través de pruebas de resistencia de carga y acústica en el laboratorio los modelos físicos propuestos, con el fin de conocer su capacidad constructiva, ventajas y desventajas.
6. Comparar los resultados obtenidos de las simulaciones de los referentes con los de los modelos experimentales.
7. Concluir y recomendar la alternativa de elaboración para este uso específico del material, su inserción como insumo en el ámbito arquitectónico puntual en beneficio del confort y la sostenibilidad.

Antecedentes

El aprovechamiento de los residuos forestales, en especial el de guadua, que en el pasado eran utilizados como combustible, a partir del siglo XX se convierte en una valiosa materia prima para la elaboración de tableros, como respuesta a una mayor demanda por el crecimiento de la población mundial, que además pide un mayor confort con materiales sostenibles.

La industria que elabora productos laminados de bambú está representada por multinacionales con plantas y cultivos principalmente en China. Sin embargo las investigaciones más importantes a nivel mundial sobre el bambú son hechas en Canadá por el “departamento de ingeniería civil de la Queen’s University, en Kingston Ontario y en la India en el instituto indio de investigación y entrenamiento de la industria del triplex” (Barreto, 2003, p. 12)

Los países de Sur América las mayores extensiones de cultivo de la guadua y utilización como materia prima son Colombia, Ecuador y Panamá (Stamm, 2016).

En Colombia la investigación sobre el tema de la guadua en todos sus aspectos, presenta niveles muy importantes desarrollados desde las universidades, corporaciones regionales, centros de investigación, empresas privadas, arquitectos, ingenieros y biólogos.

Hay espacios en la política de vivienda rural y urbana para introducir la Guadua como elemento sustituto de madera en construcciones y hay posibilidades para ingresar en el mercado de la construcción de vivienda con materiales sostenibles, un lugar poco explorado con muchas oportunidades para la Guadua. Las acciones a implementar deben conducir a la meta de llegar al Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y al

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, con una propuesta innovadora en diseño, con estándares homologados y aceptados en los códigos de ingeniería, competitiva en calidad y costo y, sobre todo, adaptable a las condiciones culturales de la arquitectura de cada región y factible de ejecutar; acciones que podrían gestionarse con el apoyo de los constructores que manejan las tendencias de vivienda sostenible. (Mejía y Moreno, 2013, p. 101).

En la visita realizada a la zona cafetera se pudo observar que desde los propietarios guadueros, corporaciones, centros de investigación, universidades, artesanos y fábricas de producción mantienen una integración permanente en pro de optimizar su comercialización.

El conocimiento de la guadua como material de construcción se evidencia en sus habitantes a través de las construcciones principalmente de la vivienda y representan un potencial desaprovechado de mano de obra en beneficio del mejoramiento de sus propias condiciones económicas y sociales (Secretarías Distritales de Ambiente, Hábitat y Planeación, s.f.) (véase la Figura 4)



Figura 4. Fabrica INDUGUADUA, guadua recortada en forma de canoa para la venta y muestra de aserrín y astillas exceso después del recorte

Fuente: Autor (2017)

Si bien es cierto, que hemos avanzado en los aspectos de cultivo, recolección, clasificación y transformación, se requiere mayor capacitación en el campo de la construcción y la tecnificación para la industrialización de productos acabados y su comercialización, ya que la gran mayoría de industrias vende la materia prima en forma de varas, canoas, latas y fibra (véase la Figura 4) y muy poco en productos terminados de alta calidad, dejando así un gran volumen de exceso o desecho.

De acuerdo a información del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), en el país existen sesenta especies de guadua y específicamente en las tres principales regiones del eje cafetero, Tolima y Valle del Cauca hay unas 35.250 hectáreas de guaduales de los cuales solamente el 15 % son guaduales plantados, los demás son guaduales naturales.

Contexto

La industrialización de los productos a base de madera residuo o deshecho ha resuelto muchos problemas y abierto la oportunidad de incrementar sus aplicaciones exaltando sus cualidades de alto coeficiente de resistencia y características térmicas. Su producción ha crecido desde 12 millones de m³ en 1950 hasta los 125 millones de m³ en la actualidad (Fernández, 1993).

Uno de los tableros de mayor aceptación y producción en el mundo son los tableros OSB; siglas en inglés de Oriented Strand Board, son tableros elaborados a partir de virutas de madera orientadas de Pino o abeto, que por ser uno de los árboles de más rápido crecimiento, permite mayor volumen de fabricación anual. Los adhesivos utilizados para elaborar los tableros de las virutas son las resinas de melanina-formaldehído, las cuales tienen gran resistencia al agua, pero es tóxico por la emanación de gases. Según la legislación europea han limitado los niveles

o cantidades utilizadas para producir tableros con contenidos de formaldehído muy bajos como 6,5 miligramos por 100 gramos de tablero (Oleart Comellas, 2011).

Tal como se puede observar en la ficha técnica del Adhesivo Formaldehído (véase la Tabla 1) su alto grado de volatilidad e inflamabilidad de los gases que produce, generan una fácil dispersión con características tóxicas altas; que al ser expuestas por tiempos prolongados ocasionan daños en la salud.

1. DATOS

| | |
|---------------------|--|
| Nombre | Formaldehído |
| Fórmula Química | CH_2O |
| Nº CAS | 50-00-0 |
| Sinónimos | Formol, Formalina |
| Aspecto | El formaldehído es un gas, normalmente se utiliza en solución acuosa de aspecto transparente |
| Olor | Tanto el gas como la solución de formalina tienen un olor fuerte, irritante y sofocante |
| Solubilidad en agua | El formaldehído es muy soluble en agua y en los disolventes polares Se llama «Formalina» a la solución acuosa de una concentración entre el 37 y el 50% de formaldehído |
| Inflamabilidad | El formaldehído gas es extremadamente inflamable |
| Volatilidad | El formaldehído es gas a la temperatura ambiente |

2. LÍMITES DE EXPOSICIÓN

| Tipo/País-Institución/año | 8 horas | Corta Duración | Carcinogenicidad | Toxicidad para la Reproducción | Frases R Frases H |
|---------------------------|---------|----------------|-------------------|--------------------------------|--|
| VLA/España/2011 | – | 0,3 ppm | – | – | R34, R40, R43, R23/24/25 H301, H311, H314, H317, H331, H351 |
| TLV/ACGIH/2010 | – | 0,3 ppm | A2 ⁽²⁾ | – | |
| AK/DFG/2009 | 0,3 ppm | 1 ppm | 4 ⁽²⁾ | C ⁽⁴⁾ | |

Tabla 1. Valores característicos y límites de exposición del formaldehído

Fuente: Oleart Comellas (2011, p. 66).

Las alternativas que hoy existen para reemplazar el formaldehído aun presentan algún nivel de toxicidad y afectaciones cancerígenas. Es evidente la necesidad de ahondar en la investigación de productos naturales que eviten en un 100% los riesgos tóxicos y cancerígenos.

Los tableros OSB son un producto relativamente nuevo. La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) en su base de datos estadísticos posee cifras mundiales sobre los OSB, que muestran un crecimiento del 7% en la producción y comercialización en el año 2015 con respecto al año anterior debido a la cada vez mayor tendencia a la producción eco-sostenible (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2017)

En Colombia no hay producción de tableros OSB, su demanda es muy baja probablemente debido a la falta de conocimiento como alternativa constructiva y los procesos de industrialización. La experiencia en otros países demuestra que los tableros OSB son una alternativa real sostenible y eficiente para la construcción liviana, rápida y resistente.

Metodología

La investigación se estructuro a través de dos ejes (véase la Figura 5), uno de análisis de referentes y otro de desarrollo de la propuesta. En el primero seleccionamos cuatro paneles SIP dentro de los más representativos en el mercado mundial, luego de cada uno se recopiló información técnica y de especificaciones como base de datos que permitirá la simulación.

En el eje de propuesta se fabricaron los modelos experimentales con los materiales residuales y reciclados seleccionados. Se realizaron ensayos de laboratorio de resistencia, acústicas y simulaciones por último se elaboraron conclusiones comparadas con los referentes y recomendaciones técnicas del producto.

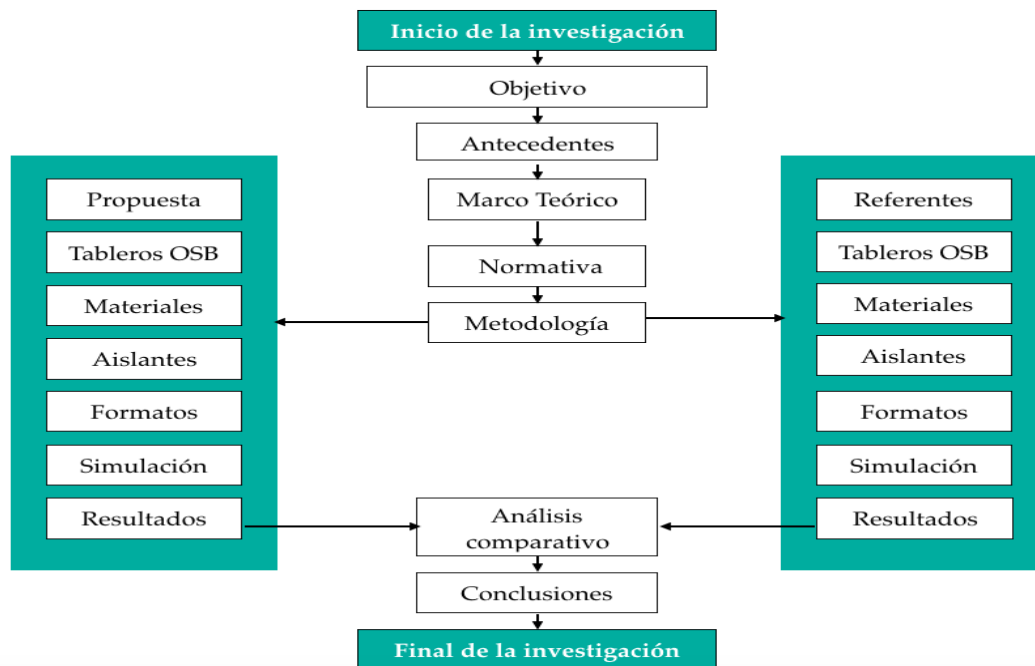


Figura 5. Mapa conceptual del desarrollo de la investigación

Fuente: Autor (2017)

El proceso de investigación se desarrolló en cuatro etapas:

Etapas 1.

La documentación del contexto proveniente de fuentes bibliográficas sobre los paneles SIP, (compuestos de tableros OSB y aislante intermedio) para fundamentar las bases teóricas de los materiales, sus características técnicas y la normativa que rige actualmente tanto a nivel internacional como nacional.

Etapas 2

Selección de cuatro referentes de características similares a lo proyectado y que se comercializan en el mercado internacional. Se analizaron y compararon por medio de simulaciones térmicas con el Software Therm 7.5 y simulaciones acústicas con el software DBK AISLA 3.01, ambas aplicando los datos climáticos de Meteonorm del lugar de estudio (Pereira). Finalmente se dieron conclusiones comparando sus resultados.

Etapas 3

Se elaboraron los modelos experimentales, describiendo sus procesos, materiales reciclados dimensionamiento y formatos.

Se definieron los adhesivos para la fabricación de los tableros y del aislante térmico.

Se realizaron pruebas en laboratorio de resistencia y simulaciones térmicas y acusticas dentro del clima específico de la ciudad de Pereira.

Etapas 4

Discusión, conclusión y observaciones.

Se comparan los resultados de referentes y modelos propuestos, con el tema de investigación, con el fin de determinar situaciones específicas de la experiencia.

Se recopilan los aspectos más relevantes y los logros alcanzados. .

Resultados

Etapa 1. Documentación Paneles SIP

Historia del SIP

El panel compuesto nace a partir de una investigación en 1930, en el laboratorio de productos forestales en Madison, Wisconsin Estados Unidos, cuyo fin era la búsqueda de técnicas para la elaboración de paneles prefabricados para la construcción. Y de ella con sus resultados se construyó una casa en 1937 la cual fue acreditada por la primera dama de entonces. (Hauser Arquitectura Modular, s.f.).

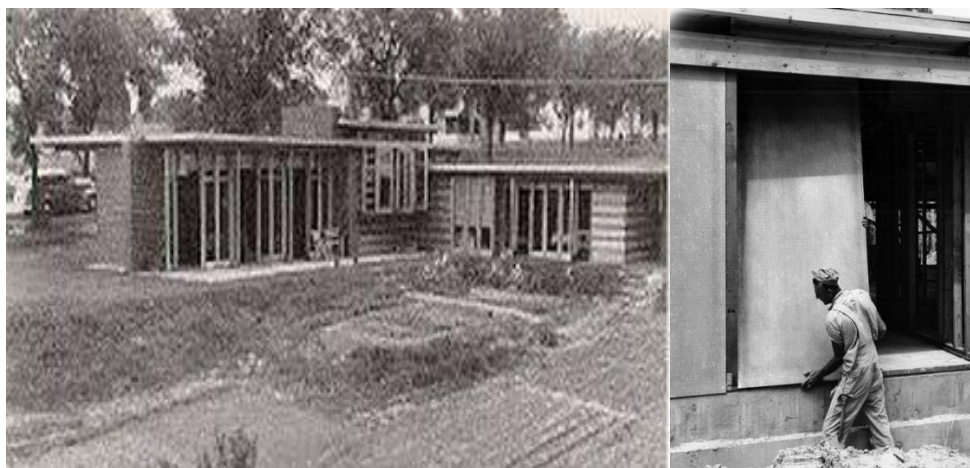


Figura 6. Panel Structural Insulated Panel (SIP's)

Fuente: Hauser Arquitectura Modular (s.f.)

A partir de allí evolucionó hacia su mejoramiento hasta que en 1947 se les incluyeron materiales aislantes internos con papel prensado o papel encartonado y otras alternativas de tableros como el contrachapado. Luego en 1967 surgen los paneles con aislamiento interno en polietileno

mejorando su comportamiento frente a la humedad externa el cual se sigue utilizando hasta hoy. (Grupo ISOTEX, 2016).

Componentes del panel SIP

Los materiales de un panel compuesto SIP (Structural Insulation Panel) Panel de aislamiento estructural o paneles estructurales térmicos son: dos tableros de hojuelas o virutas externos y un núcleo aislante. Los tableros se fabrican en diferente material, para nuestro caso concreto virutas de madera de pino o abeto, orientadas en forma de capas cruzadas para aumentar su fortaleza y rigidez (véase la Figura 7) unidas entre sí mediante adhesivos químicos aplicados bajo alta presión y temperatura. Las dos capas externas orientadas en el sentido longitudinal y dos internas, cruzadas en el sentido perpendicular (véase a Figura 8). Y un núcleo interno como aislante térmico. (Portal Arquigrafico, 2015).

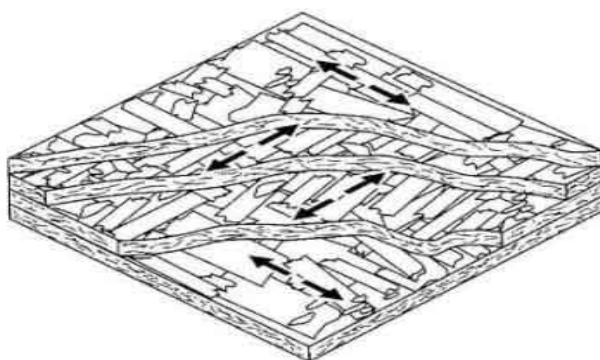


Figura 7. Orientación cruzada de virutas en panel SIP

Fuente: Portal Arquigrafico (2015)

OSB Manual

El OSB se comercializa generalmente en formato de 244cm x122 cm y espesor entre 7 y 18mm. Su uso principal es en la construcción para bases de cubiertas, vigas, viguetas, pisos, escaleras, paneles para muros exteriores e interiores entre otros.

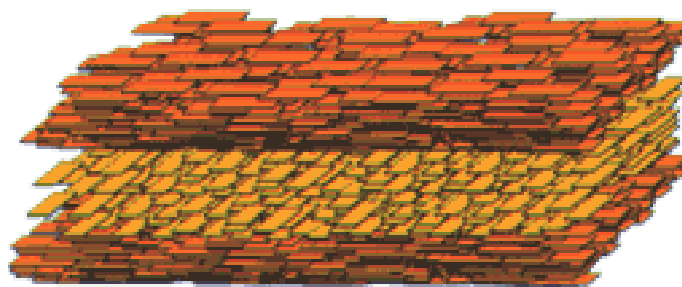


Figura 8. Capas de viruta externas orientadas en el sentido longitudinal y dos internas, cruzadas en el sentido perpendicular.

Fuente: Tatiana Zúñiga Vargas, slideshare (2013)

Tableros OSB

Las clasificaciones de los tableros OSB de acuerdo a su uso comúnmente se dividen en cuatro grupos, siendo el OSB-3 (véase la Figura 10) el que desde el punto de vista del consumo se ha estandarizado:

OSB-1: Uso interior, básicamente mobiliario. Se trata de la gama más básica y su comercialización actualmente es muy reducida.

OSB-2: Aplicaciones de carga en ambientes secos.

OSB-3: Aplicaciones de carga en ambientes relativamente húmedos, es el tipo de tablero OSB más frecuente actualmente y el que mejor relación calidad precio tiene.

OSB-4: Altas prestaciones de carga en ambientes relativamente húmedos. (Santana, 2015)

Núcleo aislante interno

El aislante interno más usado es en lámina EPS (polietileno expandido) que está constituido por 98% aire y 2% polietileno. La capacidad de aislamiento térmico de un material está definida por su conductividad térmica, su unidad es $W/(mK)$ y en el Polietileno Expandido depende de la densidad (kg/m^3) del material. La conductividad térmica es mayor en láminas con bajas densidades, disminuye a medida que aumenta la densidad y alcanza un mínimo por encima de los $30 kg/m^3$ (Grupo ISOTEX, 2016).

El de mayor aplicación es la lámina de Polietileno Expandido la cual no tiene límite de temperatura baja, la temperatura máxima permisible depende del tiempo de exposición a la temperatura. En el caso de exposición corta puede soportar temperaturas mayores a $100^\circ C$. Por un periodo largo tiende a deformarse y perder su rigidez.

Resistencia Térmica

El valor R es un índice para expresar la resistencia térmica (habilidad para detener el flujo de calor) de una pared, cielo raso, etc. Cuanto mayor sea el valor del factor R, mayor será su resistencia al flujo de calor y mejor serán sus propiedades aislantes. Sus valores son calculados a temperaturas de aproximadamente $24^\circ C$ y usualmente se reportan por pulgada (2,54 cm) de espesor de material. Para el cálculo de paredes compuestas de diversos materiales, el R total es la suma de todos los factores R individuales de cada uno de los

materiales de la pared. En las láminas de Polietileno Expandido, el valor R depende de la densidad del material. (Ecotec, 2010)

Componentes sistema SIP

El sistema SIP se compone de 2 placas de madera, metal o placa yeso, que conforman un sándwich con Poliuretano expandido o EPS (telgopor, icopor, anime, plumavit, poliespuma, poliespandido) como se aprecia en la figura 8.



Figura 9. Sistema SIP, componentes.

Fuente: Rodríguez (2015)

Etapa 2. Referentes SIP.

Los cuatro referentes que se muestran en la siguiente tabla (véase la Tabla 2) fueron seleccionados de acuerdo a varios aspectos: La similitud entre ellos en cuanto a sus dimensiones referidos al espesor total de aproximadamente 10cms, materiales de los tableros (madera aglomerada) y uso específico del panel como pared exterior de la edificación (objetivo del modelo propuesto) y además que estuvieran dentro de los mayor representación comercial.

El análisis de los referentes se realizó teniendo en cuenta las condiciones climáticas específicas la Ciudad de Pereira (Latitud: 4°48.7998' N Longitud: 75°41.7666' O y 1.414 msnm) en la zona cafetera, por ser una de las de mayor desarrollo en el campo de la investigación y de actividad artesanal de la guadua y por encontrarse en la temperatura y altura del nivel del mar ideal para su cultivo. Sus datos climáticos de acuerdo a sus coordenadas arrojaron resultados térmicos (Figura 10) que determinaron niveles de condiciones de temperatura según base de datos del software Meteonorm, para ser aplicadas dentro de la base de datos de la simulación térmica.

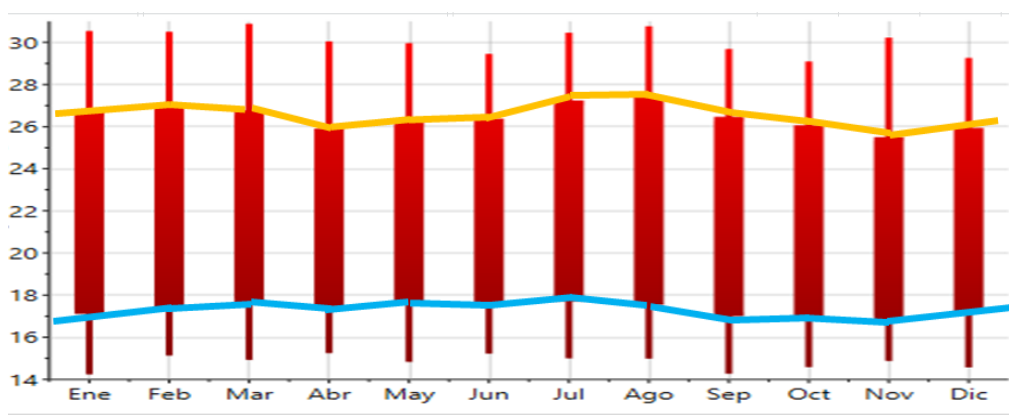


Figura 10. Gráfico de Temperaturas máximas y mínimas promedio anual.

Fuente: Autor (2017) Extraído de Meteonorm

Para el análisis y simulaciones se tuvieron en cuenta las temperaturas máximas y mínimas promedio anuales, bajo la única condición teórica de exterior e interior sin tener en cuenta espacio alguno ya que contaría con variables de toda índole como, tipo de terreno, cubierta, nivel de fenestración, etc. y el propósito es considerar el aporte individual que tendría el panel específicamente.


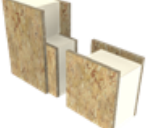

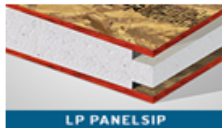
| REFERENTES PANELES SIP | | | |
|----------------------------------|--|--|--|
| 1. DESCRIPCION | PANEL 1 | PANEL 2 | |
| 1.1 Fabricante. | THERMOCHIP. By Cupa Group. | HEMSEC SIPs. Structural Insulated Panel | |
| 1.2 País | España. | Inglaterra. | |
| 1.3 Referencia producto | OSB(TOH) | PANEL THICKNESS - RESIDENTIAL | |
| 1.4 Imagen |  |  | |
| 1.5 Pagina web | www.thermochip.com/empresa/sobre-nosotros/ | www.hemsecsips.com/products-SIP_Residential.html | |
| 2. COMPOSICION . | | | |
| 2.1 Formato en milímetros | 2440 x 600 | 2440 X 1200 | |
| 2.2 Composicion panel tricapa | OsB + Poliestireno + Aglomerado hidrofugo. | OsB + Espuma rigida + Osb | |
| 2.2.1 Tablero interno | OsB 15 mm | OsB 11 mm | |
| 2.2.2 Aislante intermedio | Poliestireno Extruido 80 mm y densidad de 30kg/m3 | Espuma rigida poliuretano 103mm y densidad no indica | |
| 2.2.3 Aislante Externo | Agglomerado Hidrofugo 16 mm | OsB 11 mm | |
| 2.4 Espesor total en milímetros | 111 mm | 125 mm | |
| 3. ESPECIFICACIONES. | | | |
| 3.1 Peso total panel x m2 | 19,17 kg/m2 | 18,57 kg/m2 | |
| 3.2 Carga vertical maxima | 1435 kg/m2 | No indica | |
| 3.3 Carga Horizontal tal maxima | 345 Kg/m2 | No indica | |
| 3.4 Transmision termica. U total | 0,360 w/m2K | 0,260 w/m2 K | |
| 1. DESCRIPCION | PANEL 3 | PANEL 4 | |
| 1.1 Fabricante. | THE WALL. Structural Insulated Panel | LP. Building Product. | |
| 1.2 País | Estados Unidos. | Chile. | |
| 1.3 Referencia producto | PANEL OSB-OSB | PANEL SIP TERMICO ESTRUCTURAL | |
| 1.4 Imagen |  |  | |
| 1.5 Pagina web | http://www.thewall.cl/index.php?route=product | https://pchile.cl/es-ES/producto/otros/lp-panelsip | |
| 2. COMPOSICION . | | | |
| 2.1 Formato en milímetros | 1220X2440 | 1220X2440 | |
| 2.2 Composicion panel tricapa | OsB + Poliestireno + Osb | OsB + Poliestireno + Osb | |
| 2.2.1 Tablero interno | OsB 11,1mm | OsB 9,5 mm | |
| 2.2.2 Aislante intermedio | Poliestireno Expandido 92mm y densidad de 15 kg/m3 | Poliestireno Expandido 76 mm y densidad de 15kg/m3 | |
| 2.2.3 Aislante Externo | OsB 11,1mm | OsB 9,5 mm | |
| 2.4 Espesor total en milímetros | 114 mm | 95 mm | |
| 3. ESPECIFICACIONES. | | | |
| 3.1 Peso total panel x m2 | 16,12 Kg/m2 | 15,12 Kg/m2 | |
| 3.2 Carga vertical maxima | No indica | 1356 kg/m | |
| 3.3 Carga Horizontal tal maxima | NO indica | 397 kg/m | |
| 3.4 Transmision termica. U total | 0,364 w/m2K | 0,515 w/m2K (1,94 m2K/w= resistencia termica)*. | |

Tabla 2. Características referentes paneles SIP.

Fuente: Autor (2017)

Se recopilan los datos térmicos principales de cada panel SIP (véase la Tabla 3) necesarios para la simulación los cuales fueron obtenidos de las especificaciones y fichas técnicas de cada fabricante, donde generalmente informa el valor U (Transmitancia térmica) y $R = 1/U$ (Resistencia térmica) e indicando se espesor total y la composicion.

| DATOS TERMICOS PANELES REFERENTES | | | | |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| REFERENCIA | MODELO 1 | MODELO 2 | MODELO 3 | MODELO 4 |
| VALOR U | 0,360 | 0,260 | 0,364 | 0,515 |
| VALOR RT | 2,77 | 3,84 | 2,74 | 1,94 |
| ESPESOR | 15mm | 11mm | 11mm | 9,5mm |

Tabla 3. Datos térmicos SIP datos térmicos paneles referentes

Fuente:

Valor U alto, baja aislaciónn térmica y alta perdida de calor.

Valor U bajo, alta aislaciónn térmica y poca perdida de calor.

La Humedad relativa promedio anual del 76,5% y promedio lluvias 228 días /año, son factores que inciden directamente en los valores de la resistencia del panel a la humedad (Weather Atlas, 2017). Para ello los paneles de los referentes están categorizados como los tableros OSB/3 (según la Norma Europea UNE – en 300) diseñados para funcionar en lugares húmedos y que básicamente se refiere a el producto adhesivo con acción impermeabilizante con el cual se fabriquen los tableros exteriores.

En la tabla 4, se ilustran los resultados de la simulación de transferencia de calor por conducción bidimensional de acuerdo a los componentes de los paneles SIP, realizados a través del software Therm 7.0 donde se observó el comportamiento térmico de cada uno al interior teniendo en cuenta las temperaturas mínimas promedio anual y temperaturas máximas promedio anual de acuerdo a los datos consultados a través de Meteonorm y el Ideam. De la ciudad de Pereira. Dichos resultados son representados por los gráficos que arroja la simulación indicando a través del prisma de colores, que van desde el color rojo la temperatura más alta hasta el azul como la más baja. Sus variables entre los referentes se dan principalmente por la diferencia de espesores y densidades de los materiales, donde se observan pequeñas variables.


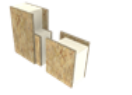

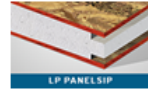
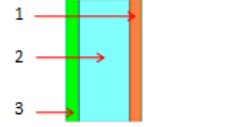
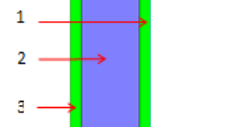
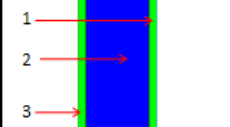
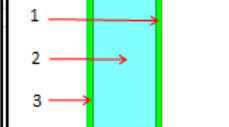
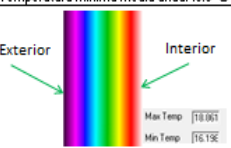







| SIMULACION TERMICA REFERENTES SOFTWARE THERM7.0 | | | |
|--|--|---|--|
| PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
| THERMOCHIP. By Cupa Group. OSB(TOH) | HEMSEC SIPS. Structural Insulated Panels. PANEL THICKNESS - RESIDENTIAL | THE WALL. Structural Insulated Panels. PANEL OSB-OSB | LP. Building Product. PANEL SIP TERMICO ESTRUCTURAL |
|  |  |  |  |
| 0,360 W/m2K | 0,260 W/m2K | 0,364 W/m2K | 0,515 W/m2K |
| (1)OsB + (2)Poliestireno + (3)Agglomerado hídrico | (1)OsB + (2) Espuma rígida + (3)OsB | (1)OsB + (2) Poliestireno + (3) Osb | (1)OsB + (2) Poliestireno + (3)Osb |
|  |  |  |  |
| Temperatura mínima media anual 15.8 °C | Temperatura mínima media anual 15.8 °C | Temperatura mínima media anual 15.8 °C | Temperatura mínima media anual 15.8 °C |
|  |  |  |  |
| Exterior Interior Max Temp [18.061] Min Temp [16.192] | Exterior Interior Max Temp [18.792] Min Temp [16.222] | Exterior Interior Max Temp [18.924] Min Temp [16.172] | Exterior Interior Max Temp [18.411] Min Temp [16.392] |
| Color Legend 16.2° 16.4° 16.6° 17.2° 17.4° 17.6° 18.2° 18.4° 18.6° C | Color Legend 16.2° 16.4° 16.6° 17.2° 17.4° 17.6° 18.2° 18.4° 18.6° C | Color Legend 16.2° 16.4° 16.6° 17.2° 17.4° 17.6° 18.2° 18.4° 18.6° C | Color Legend 16.4° 16.6° 16.8° 17.4° 17.6° 17.8° 18.4° 18.6° 18.8° C |
| Temperatura máxima media anual 26.3°C | Temperatura máxima media anual 26.3°C | Temperatura máxima media anual 26.3°C | Temperatura máxima media anual 26.3°C |
|  |  |  |  |
| Exterior Interior Max Temp [25.702] Min Temp [21.703] | Exterior Interior Max Temp [25.642] Min Temp [21.662] | Exterior Interior Max Temp [25.736] Min Temp [21.631] | Exterior Interior Max Temp [25.402] Min Temp [22.382] |
| Color Legend 21.7° 22.3° 22.9° 23.5° 24.1° 24.7° 25.3° 25.9° 26.5° C | Color Legend 21.6° 22.2° 22.8° 23.4° 24.0° 24.6° 25.2° 25.8° 26.4° C | Color Legend 21.6° 22.2° 22.8° 23.4° 24.0° 24.6° 25.2° 25.8° 26.4° C | Color Legend 22.4° 23.0° 23.6° 24.2° 24.8° 25.4° 26.0° 26.6° 27.2° C |
| Variable en bajas temperaturas se eleva al interior promedio 1,32°C | Variable en bajas temperaturas se eleva al interior promedio 1,7°C | Variable en bajas temperaturas se eleva al interior promedio 1,75°C | Variable en bajas temperaturas se eleva al interior promedio 1,58°C |
| Variable de altas temperaturas se baja promedio 2,59 °C | Variable de altas temperaturas se baja promedio 2,55°C | Variable de altas temperaturas se baja promedio 2,63 °C | Variable de altas temperaturas se baja promedio 2,37 °C |

Tabla 4. Resultados de transferencia de calor por conducción bidimensional de acuerdo a los componentes de los paneles

Fuente:

En cada uno se observa la capacidad de aislamiento térmico en su función de envolvente respecto a la temperatura exterior donde el panel 3 (The Wall. EE.UU) presenta los mayores valores de aislamiento que coincide con ser los creadores y mayores consumidores del producto.

En la figura 11 y 12 se muestra una síntesis de los resultados de las simulaciones (Therm 7.0) de temperaturas interiores máximas y mínimas en relación con la temperatura promedio y la externa máxima promedio anual también tanto en máximas como referencia de estandarización

para los modelos experimentales. El comportamiento al interior de los paneles referentes de acuerdo a las máximas temperaturas exteriores (véase la Figura 11) se observa una disminución promedio de 2,4 °C.

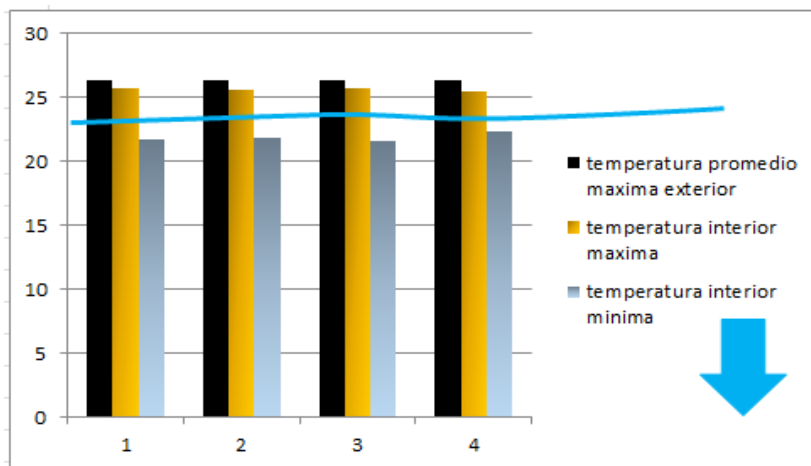


Figura 11. Gráfico Temperaturas interiores máximas

Fuente:

El comportamiento al interior de los paneles referentes de acuerdo a las mínimas temperaturas exteriores (véase la Figura 12) presenta un aumento promedio de 2,4 °C.

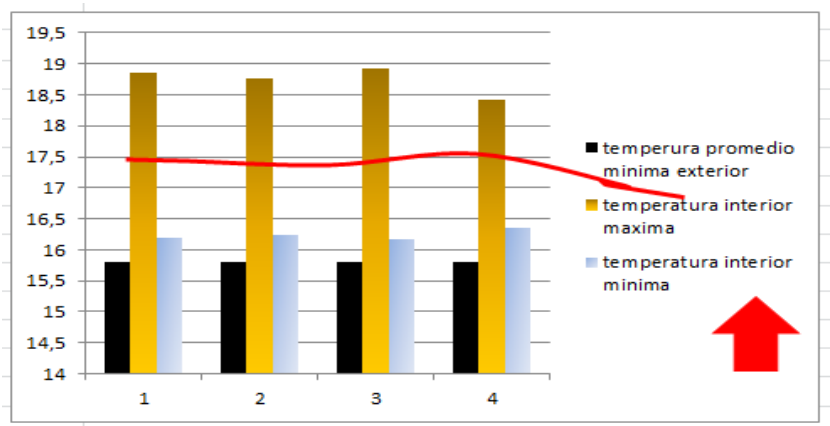


Figura 12. Gráfico Temperaturas interiores mínimas

Fuente:

En cuanto a las temperaturas mínimas anuales observamos un rango de temperatura promedio de aumento de 1,6 °C.

Para la simulación acústica el software DBKAISLA.....?

En la tabla 5 se muestran los resultados de la simulación acústica de los cuatro paneles


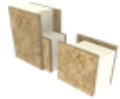
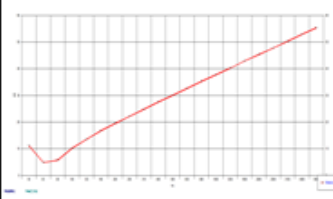
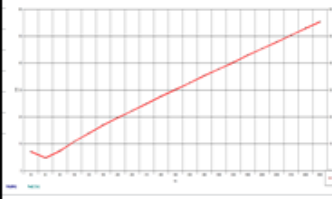

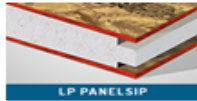
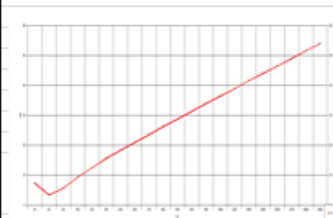
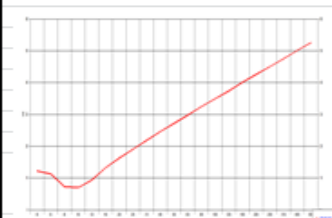
| SIMULACION ACUSTICA REFERENTES | | |
|---|---|---|
| 1. DESCRIPCION | PANEL 1 | PANEL 2 |
| 1.1 Fabricante. | THERMOCHIP. By Cupa Group. | HEMSEC SIPS. S.I.P. |
| 1.2 Referencia producto | OSB(TOH) | PANEL THICKNESS - RESIDENTIAL |
| 1.3 Imagen |  |  |
| 2. COMPOSICION . | | |
| 2.1 Formato en metros | 2,440 x 0,60 | 2,44 X 1,20 |
| 2.2 Composicion panel tricapa | OsB + Poliestireno + Aglomerado hidrofugo. | OsB + Espuma rigida + Osb |
| 2.2.1 Espesores en metros | 0,015 m + 0,08 m + 0,016 m = 0,111 m | 0,011 m + 0,103 m + 0,011 m = 0,125 m |
| 2.2.2 Densidad total | 170 k/m3 | 149 K/m3 |
| 2.2.3 Modulo de Young | 11 GN/m2 | 11 GN/m2 |
| 2.2.4 Coeficiente de amortiguacion | 0,11 | 0,11 |
| SOFTWARE. BDKAISLA 3.01 | | |
| Grafico de frecuencia vs decbeles Obtenido de la base de datos del software BDKAISLA 3.01 |  |  |
| RESOLUCION 0627 DE 2006 Máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles DB(A) para vivienda vivienda 65 DB(A) Dia 55 DB(A) Noche | | |
| 1. DESCRIPCION | PANEL 3 | PANEL 4 |
| 1.1 Fabricante. | THE WALL. Structural Insulated Panel | LP. Building Product. |
| 1.2 Referencia producto | PANEL OSB-OSB | PANEL SIP TERMICO ESTRUCTURAL |
| 1.3 Imagen |  |  |
| 2. COMPOSICION . | | |
| 2.1 Formato en metros | 2,44 X 1,20 | 2,44 X 1,20 |
| 2.2 Composicion panel tricapa | OsB + Poliestireno + Osb | OsB + Poliestireno + Osb |
| 2.2.1 Espesores en metros | 0,0111 m + 0,092 m + 0,0111 m = | 0,0095 m + 0,067 m + 0,0095 m |
| 2.2.2 Densidad total | 140 K/m3 | 176 k/m3 |
| 2.2.3 Modulo de Young | 11 GN/m2 | 11 GN/m2 |
| 2.2.4 Coeficiente de amortiguacion | 0,11 | 0,11 |
| SOFTWARE. BDKAISLA 3.01 | | |
| Grafico de frecuencia vs decbeles Obtenido de la base de datos del software BDKAISLA 3.01 |  |  |
| RESOLUCION 0627 DE 2006 Máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles DB(A) para vivienda vivienda 65 DB(A) Dia 55 DB(A) Noche | | |

Tabla 5. Simulación acústica de los referentes. Software BDKAISLA.

Fuente: Autor (2017)

Los ruidos representan variaciones de presión de diferentes db y frecuencias. De acuerdo con Madorrán (2014) “El sistema auditivo humano está capacitado para oír sonidos de frecuencias

comprendidas entre los 20 Hz. y los 20.000 Hz. Para la vivienda la normativa limita el nivel diurno a 65 db y nocturno a 55 db” (p. 25).

La simulación acústica (véase la Tabla 5) arrojó en los gráficos, niveles de aislamiento ascendentes constantes en todos los paneles referentes, con respecto a decibeles admisibles que, de acuerdo al ruido, aislará restando el valor o nivel correspondiente de acuerdo a la frecuencia localizada.

Dentro de los cuatro referentes se observaron pequeñas variaciones en los 8 y 10 decibeles y frecuencias bajas de 100 Hz, que se interpreta como niveles de aislamientos mínimos con Frecuencias variable hasta 100 Hz.

Etapas 3. Propuestas de los Modelos

Como se dijo, los materiales definidos para el desarrollo de la propuesta son el residuo de guadua y el cartón reciclado, dos materiales derivados de recursos naturales renovables y de baja contaminación ambiental, que harían parte del desarrollo industrial dentro del ciclo de vida de la guadua fortaleciendo el sector comercial que a su vez recuperaría material reciclado de las construcciones, mobiliarios y artesanías para su reutilización (véase la Figura 13).



Figura 13. Esquema ciclo de vida.

Fuente:

Los materiales que varían dentro de los modelos 1 y 2 tienen que ver con los adhesivos tanto en la fabricación de los tableros como en el ensamble, además de sus acabados de protección.

Modelo 1

Lugar de Elaboración: Talleres y fábrica de materiales de construcción en guadua del Arquitecto Fabián Martínez Investigador y Docente del Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera del SENA y Gerente de la empresa MUISKAY dedicada a la construcción sostenible de vivienda en guadua y otros.

Materiales.

- Hojuelas de fibra de guadua (Figura 13) elaboradas con el residuo producto de la fabricación de las tablillas, canoas, esterillas y otros cortes que se comercializan para artesanías y

construcción. •En este caso obtenido a través de la empresa Induguadua S.A Kilómetro 15 vía Armenia - La Tebaida.

- Adhesivo para la formación de los tableros. Pegatex, Carpicol 2500: pegante sinético de PVA (poli acetato de vinilo) de alta concentración a base de agua.
- Tubos de cartón reciclados de papel higiénico. Estos fueron recolectados por aproximadamente dos meses, en hogares de personas conocidas. (Figura 13).
- Adhesivo PVA – 60 de pégate para la unión de las tres capas.
- Barniz impermeabilizante para exterior de permanente contacto con la humedad.



Figura 14. Fibra de guadua reciclada y tubos de cartón reciclados

Fuente: Autor (2017)

Proceso de fabricación ensayos

- Se sumergieron todas las hojuelas o astillas dentro del adhesivo Carpincol 2500 de Pegatex., impregnando toda su superficie (viruta tiene una dimensión aproximada de 5 a 50 mm de ancho, < 1,5 mm de grueso y cerca de 80 mm de largo),
- Disposición de las astillas en una primera capa en el sentido más largo del tablero, luego una segunda capa orientada en sentido contrario o cruzado y así dos capas más y al final una en el mismo sentido de la primera.

- Se realizó el confinamiento con listones de madera balso (con el fin de variar su espesor de acuerdo a la presión ejercida) de acuerdo al tablero según las dimensiones requeridas.
- Prensar en frío con presión o carga de 30 MPa ($1 \text{ MPa} = 10.2041 \text{ Kg-f / cm}^2$) durante 3 horas y 40 minutos para el primer prensado, luego se extrajo de la prensa con el fin de aplicar otra capa de adhesivo PVA para nuevamente prensar durante 6 horas y 35 minutos. Todo el proceso se muestra en la secuencia fotográfica siguiente (Figura 14).
- Secado ventilación natural por 48 horas.
- Aplicación de barniz de impermeabilización. Deva- TARIMEX
- Instalación aislante con tubos dobles de cartón, reciclado de papel higiénico, pegado a los tableros externos Carpincol 2500.
- Montaje total del panel compuesto y secado definitivo.
- Instalación de los marcos internos de madera que aseguran su confinamiento.



Figura 15. Proceso de fabricación del tablero. Empresa MUISKAY

Fuente: Autor (2017)

Características




| MODELO PANEL COMPUESTO PROPUESTA | | |
|---|---|---|
| 1. DESCRIPCION | MODELO 1 | OBSERVACIONES |
| 1.1 Modelo Experimental | | |
| 1.2 Lugar. | Fabrica TALLER GUADUA. | http://muiskay.wixsite.com |
| 1.3 Direccion | Av. Carrera 68 No. 28-27 sur | muiskay@hotmail.com |
| 1.3 Ciudad. | Bogota. D.C. | |
|  |  |  |
| 1.4 Imagen Modelo | Proyecto vivienda sostenible. | Empresa |
| 1.5 Asesoría en fabricación. | Arquitecto. Fabian Martinez | |
| 1.5.1 Cargo | Docencia e investigacion - CTCM . SENA | |
| 1.5.2 Contacto | fabianmartin@misena.edu.co | |
| 1.6 Software | THERM 7.0 y OPAQUE 3.0 | |
| 2. COMPOSICION . | | |
| 2.1 Formato en milímetros | 2400x 600 | |
| 2.2 Composicion panel tricapa | OSB + tubos de carton + OSB | |
| 2.2.1 Tablero externo | 14 mm | |
| 2.2.2 Aislante intermedio | 90 mm | |
| 2.2.3 Aislante Externo | 14 mm | |
| 2.4 Espesor total en milímetros | 118 mm | |
| 3. ESPECIFICACIONES. | | |
| 3.1 Peso total panel x m2 | 19,2 kg | |
| 3.2 Carga vertical maxima | 418 kg | |
| 3.3 Carga Horizontal tal maxima | 1.040 kg | |
| 3.4 Transmicion termica U Total | 0,41 W/m2K | |
| 3.5 Aislamiento acústico | 12,78% | |

Tabla 6. Modelo 1 panel compuesto propuesta

Fuente: Autor (2017)

La mayoría de paneles SIP comerciales manejan el formato lamina es decir 122 x 244cms, la investigación deja abierto este tema, debido que el dependerá directamente del tipo de estructura sobre la cual se montarían los paneles. Sugerimos por una cuestión de manipulación y montaje formato de media lamina, es decir 240cm x 60cm.

Simulación Térmica

Se observan temperaturas promedio internas de **17.6°C** con respecto a las mínimas exteriores de 15,8°C un aumento de 2,3°C. Y respecto a las máximas promedio exteriores de 26,3 disminuye promedio a **23,2 °C**.

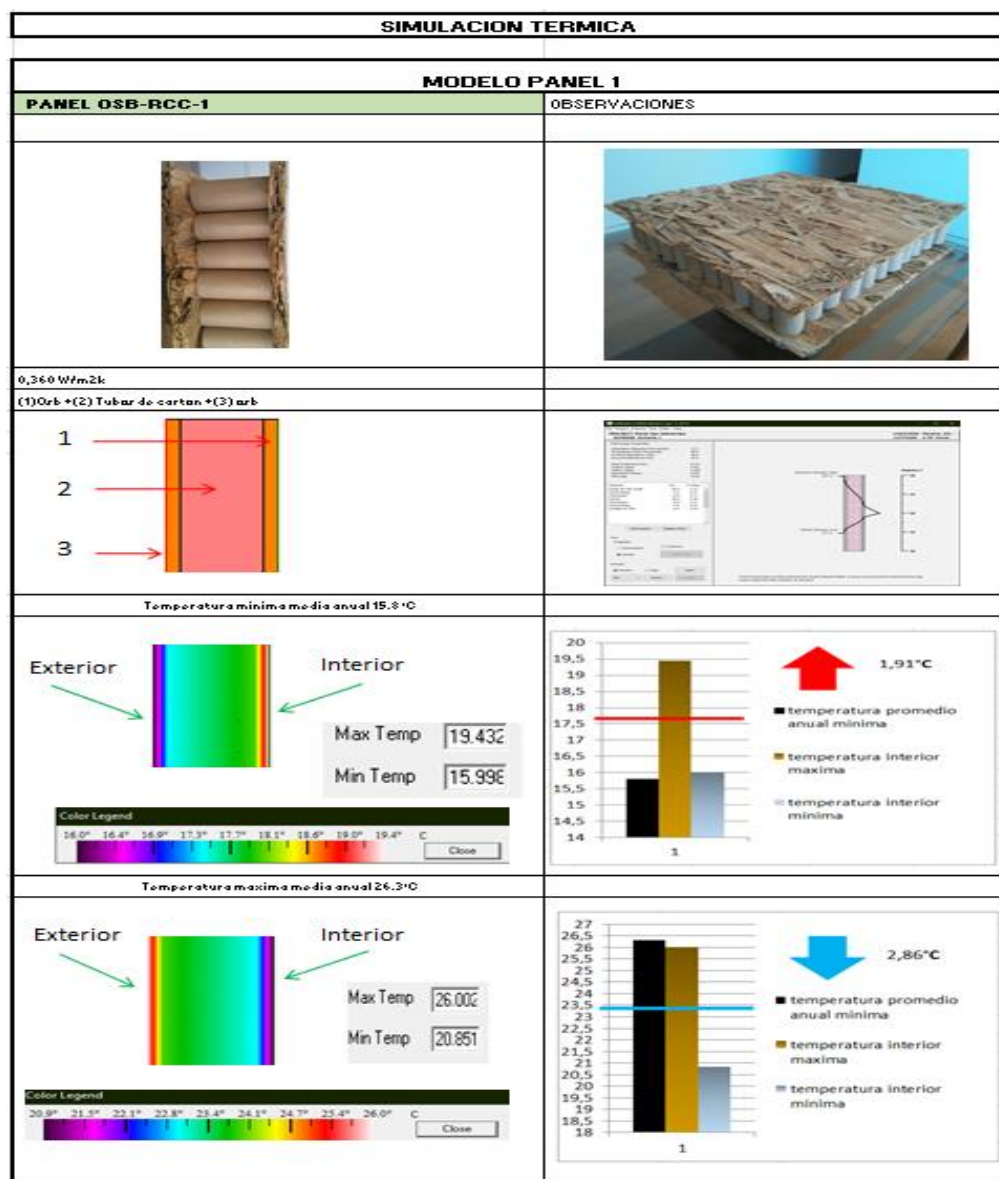


Tabla 7. Simulación Térmica Modelo 1.

Fuente: Autor (2017)

Simulación Acústica



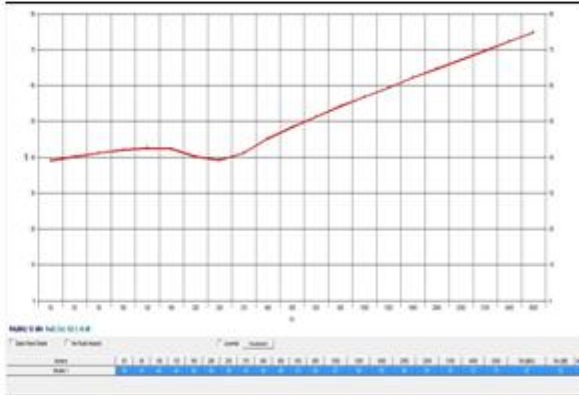
| SIMULACION ACUSTICA MODELO 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1. DESCRIPCION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 Modelo Experimental | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.3 Imagen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. COMPOSICION . | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Formato en metros | 2,40 X 0,60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 Composicion panel tricapa | OSB + tubos de carton + OSB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2.1 Espesores en metros | 0,014 + 0,090 m + 0,014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2.2 Densidad total | 142,205 Kg/m3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2.3 Modulo de Young | 11 GN/m2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2.4 Coeficiente de amortiguacion | 0,11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SOFTWARE. BDKAISLA 3.01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grafico de frecuencia vs decbeles Obtenido de la base de datos del software DBKAISLA 3.01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RESOLUCION 0627 DE 2006 Máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles DB(A) para vivienda urbana= vivienda 65 DB(A) Dia 55 DB(A) Noche | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table><tr><th>63</th><th>80</th><th>100</th><th>125</th><th>160</th><th>200</th><th>250</th><th>315</th><th>400</th><th>500</th><th>630</th><th>800</th><th>1000</th><th>1250</th><th>1600</th><th>2000</th><th>2500</th><th>3150</th><th>4000</th><th>5000</th><th>RA [dB]</th><th>Rw [dB]</th></tr><tr><td>40</td><td>41</td><td>42</td><td>43</td><td>42</td><td>40</td><td>39</td><td>41</td><td>45</td><td>46</td><td>51</td><td>54</td><td>57</td><td>59</td><td>62</td><td>66</td><td>67</td><td>70</td><td>72</td><td>75</td><td>52</td><td>52</td></tr></table> | | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | RA [dB] | Rw [dB] | 40 | 41 | 42 | 43 | 42 | 40 | 39 | 41 | 45 | 46 | 51 | 54 | 57 | 59 | 62 | 66 | 67 | 70 | 72 | 75 | 52 | 52 |
| 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | RA [dB] | Rw [dB] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 41 | 42 | 43 | 42 | 40 | 39 | 41 | 45 | 46 | 51 | 54 | 57 | 59 | 62 | 66 | 67 | 70 | 72 | 75 | 52 | 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 8. Simulación acústica Modelo 1.

Fuente: Autor (2017)

La simulación acústica (Tabla 8 y Figura 16) nos arroja en el gráfico, niveles de aislamiento ascendentes constantes en el panel sin variaciones de aislamiento a 40 decibeles admisibles que de acuerdo al ruido y frecuencias entre 50 y 250 Hz. En la Figura 16 vemos dentro de los niveles permitidos entre 55 y 65 decibeles el aislamiento alcanza frecuencias hasta 1.750 Hz dentro del límite admisible pero que no representa valores significativos, prevalente debido a la fuga de aire por la irregularidad de los tubos de cartón que no sellan completamente el cuerpo aislante del panel.

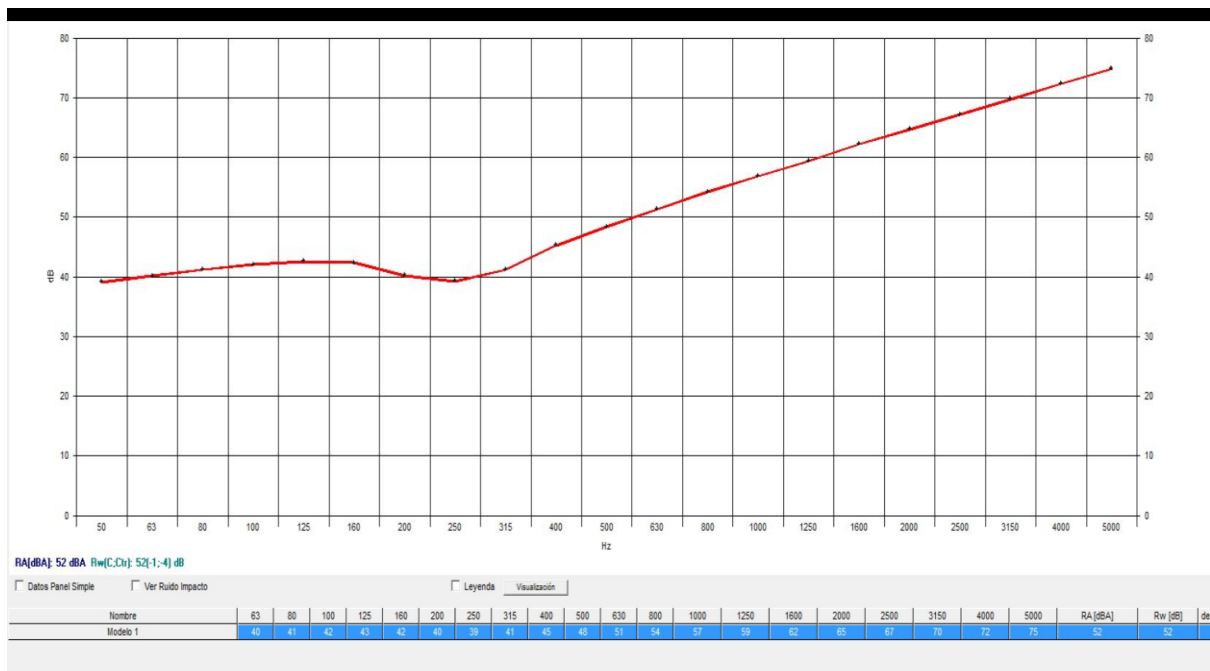


Figura 16. Diagrama de Bode simulación acústica Modelo 1, Software DBKAISLA.

Fuente: Autor (2017)

Ensayos de laboratorio Modelo 1

Pruebas acústicas

La medición acústica en laboratorio se realizó simulando un espacio interior cerrado en cartón de un metro cubico como volumen, para lo cual se utilizó un sonómetro que tomó la lectura de los decibeles de acuerdo al ruido aplicado, en frecuencias de menor a mayor en la parte externa a través de un amplificador generador de ruido que indica la frecuencia como base de datos (Figura 17). En la tabla 9 se muestran los resultados obtenidos reflejando frecuencia exterior, ruido exterior, ruido interno y diferencia, para hallar finalmente el “porcentaje promedio de Aislamiento Acústico”; a continuación de la gráfica (Figura 18) que refleja la comparación entre datos y fotografías de los equipos usados en la medición (Figura 19).

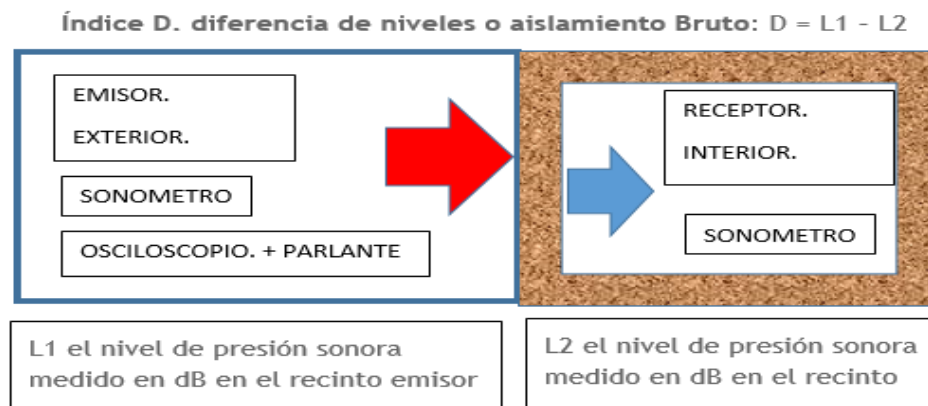


Figura 17. Procedimiento simulación acústica en laboratorio.

Fuente: Autor (2017)

| Ruido Exterior en | Ruido exterior en | Ruido interno en | Diferencia. |
|-------------------|-------------------|------------------|-------------|
|-------------------|-------------------|------------------|-------------|

| frecuencia Hz | Decibeles Db | Decibeles Db | Decibeles. Db |
|---|--------------|--------------|---------------|
| 1730 | 96,4 | 78,4 | 18 |
| 1450 | 90,2 | 77,5 | 12,7 |
| 1003 | 84,4 | 70,2 | 14,2 |
| 921 | 77,7 | 69,8 | 7,9 |
| 735 | 69,4 | 63,1 | 6,3 |
| 669 | 67,2 | 56,3 | 10,9 |
| 367 | 59,6 | 48,6 | 11 |
| 226 | 55,4 | 41,4 | 14 |
| Valor promedio de Aislamiento acústico. | | | 11,875 |

Tabla 9. Nivel de Ruido Exterior Vs. Nivel Interior del Panel y su Porcentaje de Absorción Modelo 1

Fuente: Autor (2017)

Aislamiento Global de la Superficie

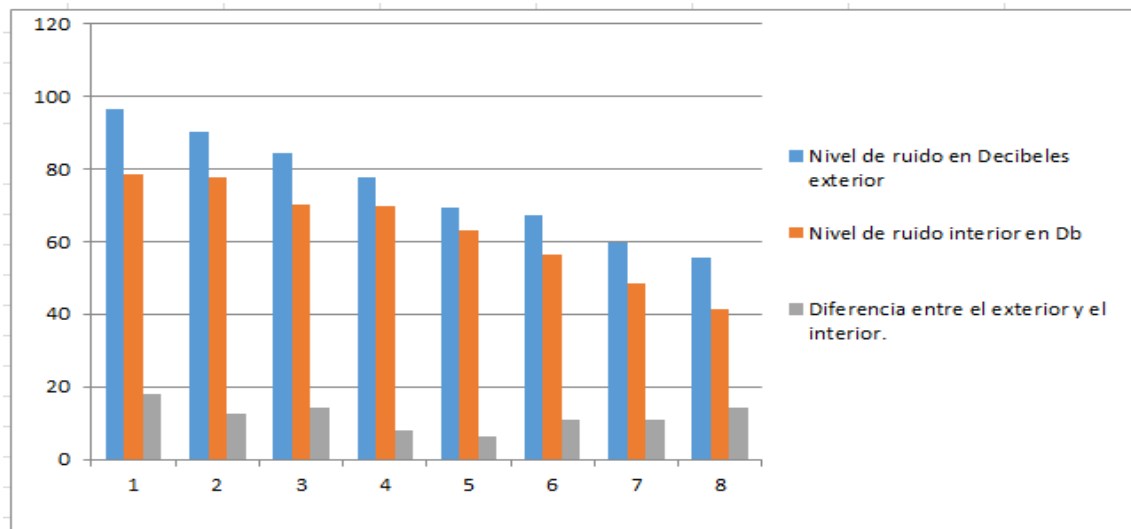


Figura 18. Resultados obtenidos del aislamiento interno vs exterior.

Fuente: Autor (2017)



Figura 19. Equipos Utilizados para el Laboratorio de Acústica de los Paneles Propuestos

Fuente: Autor (2017)

Pruebas de Resistencia a Compresión

La máquina universal de ensayos de tensión y compresión de una sola columna (Figura 20) fue utilizada para someter a compresión el panel modelo que presento resistencia al límite de la deformación sin rotura, los resultados se muestran en la tabla 10.

| Resultados de resistencia física del Modelo 1 | | | |
|---|----------|----------|-------------|
| Dimensiones probeta | Unidad | Cantidad | Observacion |
| Area | m2 | 0,0625 | |
| Espesor | ml | 0, 118 | |
| Peso | Kg | 1,2 | |
| Materiales. | | | |
| 1. Tableros madera Osb Guadua | Unidad | 2 | |
| Densidad | Kg/ m3 | 738 | |
| 2. tubos dobles de carton tubular | Diametro | 5 | |
| Densidad | Kg/ m3 | 22,32 | |
| Aplicación de la carga | | | |
| Superficie de presion de la prensa. | m2 | 0,0177 | |
| Carga Horizontal | Kg | 1.040 | |
| Carga Vertical | Kg | 418 | |

Tabla 10. Prueba de resistencia Horizontal y vertical del modelo 1.

Fuente: Autor (2017)

La máquina universal de ensayos de tensión y compresión de una sola columna (Figura 19) fue utilizada para someter a compresión el panel modelo que presento resistencia al límite de la deformación sin rotura, los resultados se muestran en la tabla 10.



Figura 20. Equipos Utilizados (prensa hidráulica) para Pruebas de Resistencia de Carga Horizontal y Carga Vertical del Modelo 1

Fuente: Autor (2017)

Modelo 2

Asesoría y elaboración del modelo a través del Ingeniero José A. Gutiérrez. Jefe de Procesos. Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional Experimental Politécnica (UNEXPO) – Venezuela. Empresa PRIMADERA.

Materiales, herramienta y equipos

- Virutas o astillas de fibra de guadua como residuo de la elaboración de tablillas, canoas, esterillas y otros cortes que se comercializan como elementos de construcción. Obtenido a través de la empresa Induguadua. Armenia - La Tebaida.
- Adhesivo para la formación de los tableros. Urea formaldehído.
- Aislante: Doble lámina de cartón panal o Honeycomb board (Figura 20) $E = 48\text{mm c/u}$ Fabricante. Perlada. S.A.S.

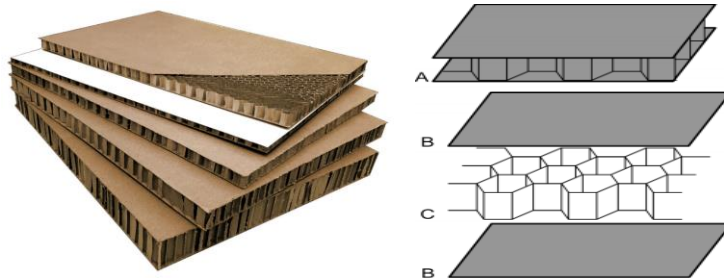


Figura 21. Cartón nido de abeja.

Fuente: MW Materials World (2016)

- Adhesivo Carpincol 2500 - Pegatex para la unión de las tres capas
- Barniz Pintuco para exteriores en madera.

Proceso de fabricación ensayos

- Clasificación de materia prima de madera a la granulometría adecuada para la fabricación del tablero con dimensiones de 1 a 2 mm de ancho por 15 a 30 mm de largo.
- Luego se procedió a medir la humedad de la madera la cual estaba en 16%; debido a esta se tuvo que bajar la humedad a 5% a través de horno de convección.
- Una vez lista la materia prima de madera se realiza el encolado de las partículas con resina urea-formaldehído cuyas especificaciones eran densidad 1270 kg/m³; 65% sólidos; viscosidad de 170cps; realizando una dosificación de 40 gr de resina por cada 100 gr de madera.
- Teniendo las partículas impregnadas se procedió a formar el tablero en capas; formando inicialmente la capa inferior compuesta por el 17% de la madera, luego la capa interna con un 64% de la madera y finalmente la última capa externa superior con un 17%.
- Teniendo el tablero formado, se ingresa a la prensa mono piso a una temperatura de 210°C, presión específica de 42 kg/cm² y un tiempo de prensado de 4 min.

• Finalmente se realizan los ensayos físico mecánicos en una maquina universal, donde se midieron las propiedades de enlace interno, módulos de elasticidad y de rotura.

Nota: Debido a nuestra tecnología el tablero obtenido están más cerca de ser un tablero Aglomerado que un tablero OSB.

Los resultados obtenidos del tablero de guadua presentaron unas propiedades físico mecánicas muy buenas desde nuestro punto de vista; siendo expertos en tableros Aglomerados; mas no de OSB; pero desde nuestro punto de vista muy bueno; basándonos en los resultados de tracción interna obtenidos de 0,16 a 0,32 N/mm²; así como también de módulos de elasticidad de 3840 N/mm² y módulos de rotura de 23,6 N/mm². Razón por la cual el tablero final elaborado para la presentación y tema acústico fue reemplazado por un tablero similar en cuanto a su densidad. (véase la Figura 21).



Figura 22. Proceso de fabricación de probetas y tablero. Laboratorio PRIMADERA SAS.

Fuente: Autor (2017)

Características




| MODELO PANEL COMPUESTO PROPUESTA | | |
|---|---|---|
| 1. DESCRIPCION | MODELO 2 | OBSERVACIONES |
| 1.1 Modelo Experimental | | |
| 1.2 Lugar. | Planta PRIMADERA | http://www.primadera.com/ |
| 1.3 Direccion | Carretera Central Norte Km 49 - Vereda la Aurora | |
| 1.3 Ciudad. | Gachancipa- Cundinamarca | |
|  |  |  |
| 1.4 Imagen Modelo pruebas. | Fabrica PRIMADERA SAS | "Madera Urbana" |
| 1.5 Asesoría en fabricación. | Ingeniero. Jose A. Gutierrez | |
| 1.5.1 Cargo | Jefe de Procesos e Investigacion. | |
| 1.5.2 Contacto | jogutierrez@primadera.com | |
| 1.6 Software | THERM 7.0 y OPAQUE 3.0 | |
| 2. COMPOSICION . | | |
| 2.1 Formato en milímetros | 2400x 1200 | |
| 2.2 Composicion panel tricapa | OSB + Lamina Cartón Panal + OSB | |
| 2.2.1 Tablero externo | 11 mm | |
| 2.2.2 Aislante intermedio | 100 mm | |
| 2.2.3 Aislante Externo | 11 mm | |
| 2.4 Espesor total en milímetros | 122 mm | |
| 3. ESPECIFICACIONES. | | |
| 3.1 Peso total panel x m2 | 21,92 kg | |
| 3.2 Carga vertical maxima | 1.970 kg | |
| 3.3 Carga Horizontal tal maxima | 518 kg | |
| 3.4 Transmicion termica U total | 0,34 W/m2K | |
| 3.7 Aislamiento Acustico. | 13,13% | |

Tabla 11. Modelo 2 paneles. Ficha Técnica.

Fuente: Autor (2017)

Simulación Térmica modelo 2



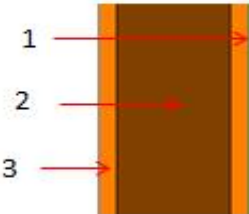
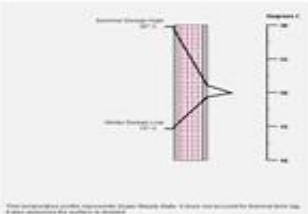
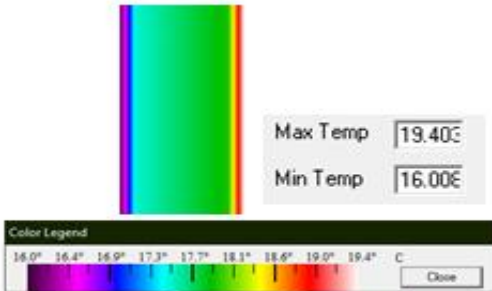
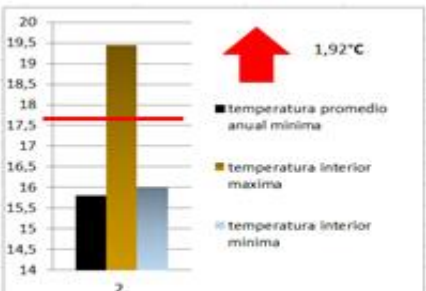
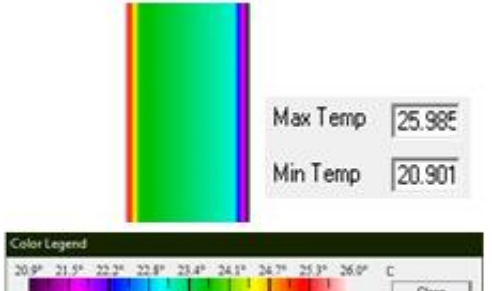
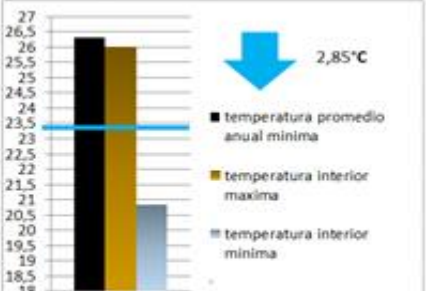
| SIMULACION TERMICA | |
|--|--|
| MODELO PANEL 2 | |
| PANEL OSB-RCC-2 | OBSERVACIONES |
|  |  |
| 0,260 W/m2 K (1)Osbs + (2) Laminas carton panel + (3)Osbs | |
|  |  |
| Temperatura minima media anual 15.8 °C | |
|  <p>Max Temp 19.40°C Min Temp 16.00°C</p> <p>Color Legend</p> <p>16.0° 16.4° 16.9° 17.3° 17.7° 18.1° 18.6° 19.0° 19.4° C</p> <p>Temperatura maxima media anual 26.3°C</p> |  <p>2</p> <p>1.92°C</p> <p>temperatura promedio anual minima temperatura interior maxima temperatura interior minima</p> |
|  <p>Max Temp 25.98°C Min Temp 20.90°C</p> <p>Color Legend</p> <p>20.9° 21.5° 22.2° 22.8° 23.4° 24.1° 24.7° 25.3° 26.0° C</p> <p>Temperatura maxima media anual 26.3°C</p> |  <p>2</p> <p>2.85°C</p> <p>temperatura promedio anual minima temperatura interior maxima temperatura interior minima</p> |

Tabla 12. Simulación térmica Panel 2

Fuente: Autor (2017)

Simulación Acústica




| SIMULACION ACUSTICA MODELO 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| 1. DESCRIPCION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 Modelo Experimental | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.3 Imagen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. COMPOSICION . | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Formato en metros | 2,40 X 1,20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 Composicion panel tricapa | OSB + CARTON HEXAGONAL + OSB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2.1 Espesores en metros | 0,012 + 0,090 m + 0,012 = 114 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2.2 Densidad total | 155,6 Kg/m3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2.3 Modulo de Young | 11 GN/m2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2.4 Coeficiente de amortiguacion | 0,11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SOFTWARE. BDKAISLA 3.01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grafico de frecuencia vs decbeles Obtenido de la base de datos del software DBKAISLA 3.01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RESOLUCION 0627 DE 2006 Máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles DB(A) para vivienda urbana= vivienda 65 DB(A) Dia 55 DB(A) Noche | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table><tr><td>63</td><td>80</td><td>100</td><td>125</td><td>160</td><td>200</td><td>250</td><td>315</td><td>400</td><td>500</td><td>630</td><td>800</td><td>1000</td><td>1250</td><td>1600</td><td>2000</td><td>2500</td><td>3150</td><td>4000</td><td>5000</td><td>RA (dB)</td><td>Rw (dB)</td><td>del</td></tr><tr><td>40</td><td>41</td><td>42</td><td>43</td><td>42</td><td>40</td><td>39</td><td>41</td><td>45</td><td>48</td><td>51</td><td>54</td><td>57</td><td>59</td><td>62</td><td>65</td><td>67</td><td>70</td><td>72</td><td>75</td><td>52</td><td>52</td><td></td></tr></table> | | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | RA (dB) | Rw (dB) | del | 40 | 41 | 42 | 43 | 42 | 40 | 39 | 41 | 45 | 48 | 51 | 54 | 57 | 59 | 62 | 65 | 67 | 70 | 72 | 75 | 52 | 52 | |
| 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | RA (dB) | Rw (dB) | del | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 41 | 42 | 43 | 42 | 40 | 39 | 41 | 45 | 48 | 51 | 54 | 57 | 59 | 62 | 65 | 67 | 70 | 72 | 75 | 52 | 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 13. Simulación acústica Panel 2.

Fuente: Autor (2017)

La simulación acústica (véase la Tabla 13 y la Figura 23) nos arroja en el gráfico, niveles de aislamiento ascendentes constantes en el panel sin variaciones de aislamiento a 40 decibeles admisibles que de acuerdo al ruido y frecuencias entre 50 y 250 Hz. Dentro de los niveles

permitidos entre 55 y 65 decibeles el aislamiento alcanza frecuencias hasta 4.500 Hz, superando el modelo uno al presentar cámara de aire sellada del cartón honeycomb.

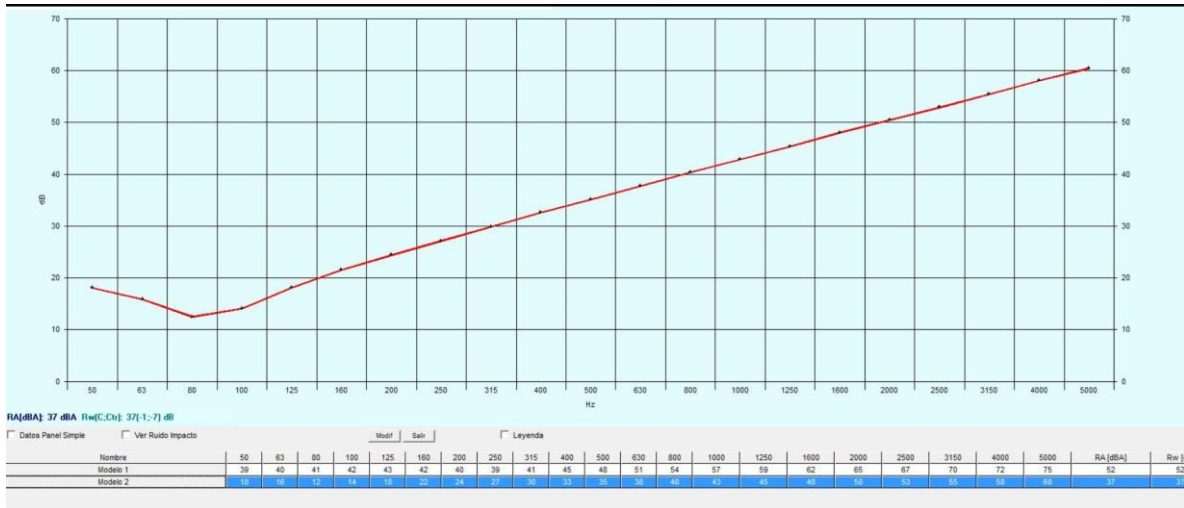


Figura 23. Diagrama de Bode simulación acústica modelo 2, Software DBKAISLA.

Fuente: Autor (2017)

Análisis de laboratorio modelo 2

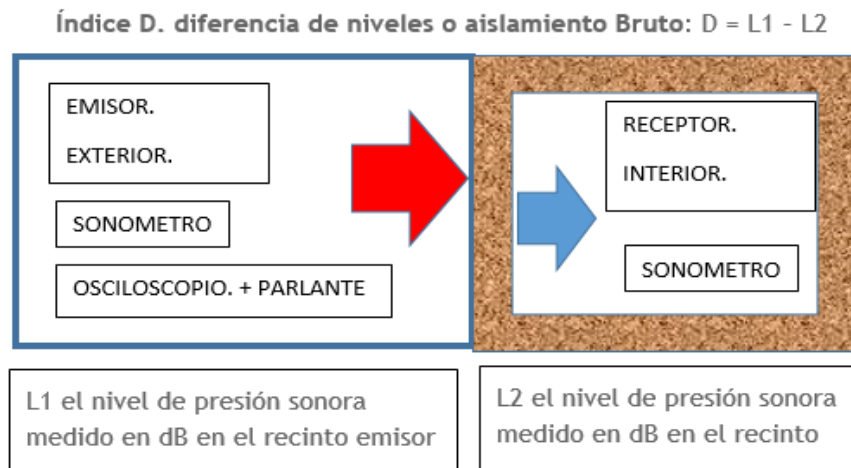


Figura 1. Prueba acústica laboratorio Modelo 2.

Fuente: Autor (2017)

| Ruido Exterior en frecuencia Hz | Ruido exterior en Decibeles Db | Ruido interno en Decibeles Db | Diferencia. Decibeles. Db |
|--|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1730 | 96,4 | 76,8 | 19,6 |
| 1450 | 90,2 | 75,5 | 14,7 |
| 1003 | 84,4 | 68,4 | 16 |
| 921 | 77,7 | 62,6 | 15,1 |
| 735 | 69,4 | 57,6 | 11,8 |
| 669 | 67,2 | 55,6 | 11,6 |
| 367 | 59,6 | 51,4 | 8,2 |
| 226 | 55,4 | 47,3 | 8,1 |
| Valor promedio de Aislamiento acústico | | | 13,1375 |

Tabla 14. Nivel de Ruido Exterior Vs. Nivel Interior del Panel y su Porcentaje de Absorción

Modelo 2

Fuente: Autor (2017)

La medición acústica en laboratorio se realizó simulando un espacio interior cerrado en cartón de un metro cubico como volumen, para lo cual se utilizó un sonómetro para tomar lectura de los decibeles de acuerdo al ruido aplicado frecuencias de menor a mayor en la parte externa a través de un amplificador generador de ruido que indica la frecuencia como base de datos.

| Resultados de resistencia física del Modelo 2 | | | |
|---|----------|----------|-------------|
| Dimensiones probeta | Unidad | Cantidad | Observacion |
| Area | m2 | 0,0625 | |
| Espesor | ml | 0, 122 | |
| Materiales. | | | |
| 1. Tableros madera Osb Guadua | Unidad | 2 | |
| Densidad | Kg/ m3 | 697 | |
| 2. Carton panal Honeycomb | Diametro | 5 | |
| Densidad | Kg/ m3 | 27,4 | |
| Aplicación de la carga | | | |
| Superficie de presion de la prensa. | m2 | 0,0177 | |
| Carga Horizontal | Kg | 1.970 | |
| Carga Vertical | Kg | 518 | |

Tabla 15. Prueba de resistencia Horizontal y vertical del modelo 2

Fuente: Autor (2017)

Etapas 4 Evaluación de Resultados

Evaluación de los resultados de simulaciones térmicas y acústicas de los referentes y los modelos de panel propuesto, indicando su eficiencia nivel de confort. De tal modo que permita tomar las decisiones necesarias para su optimización.

Resultados Térmicos

En el tema de aislación térmica los valores obtenidos (véase la Tabla 17) indican que tanto referentes como modelos experimentales mantienen una relativa homogeneidad en los niveles de confort interno. Se destacan los ubicados entre rangos de temperatura mínima de 17.71 C y 21,9 C como el mejor (Modelo 2) y entre 17,38 y 22,38 como el más desfavorable el LP Sip. Chile.

| RESULTADOS SIMULACIONES TERMICAS. Software. Therm 7.0 | | | | | | | |
|---|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|-----------|
| SIMULACION TERMICA | unidad | Referente 1 | Referente 2 | Referente 3 | Referente 4 | Modelo 1 | Modelo 2 |
| | | THERMO CHIP | HEMSEC SIPS | THE WALL | LP SIP | MUISKAY | PRIMADERA |
| Espesor panel tricapa | mm | 150 | 110 | 110 | 95 | 118 | 122 |
| Valor U | W/m2K | 0,36 | 0,26 | 0,364 | 0,515 | 0,41 | 0,34 |
| Valor R = 1/U | K-m2/W | 2,78 | 3,85 | 2,75 | 1,94 | 2,44 | 2,94 |
| Temperatura promedio minima Exterior 15,8 | °C | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 |
| Temperatura interior maxima | °C | 18,861 | 18,759 | 18,925 | 18,411 | 19,432 | 19,402 |
| Temperatura interior minima | °C | 16,196 | 16,233 | 16,175 | 16,355 | 15,996 | 16,006 |
| Diferencia promedio interior | °C | 2,665 | 2,526 | 2,75 | 2,056 | 3,436 | 3,396 |
| Diferencia maxima interior | °C | 3,061 | 2,959 | 3,125 | 2,611 | 3,632 | 3,602 |
| Diferencia minima interior | °C | 0,396 | 0,433 | 0,375 | 0,555 | 0,196 | 0,206 |
| Promedio temperatura int. respecto al exterior | °C | 1,7285 | 1,696 | 1,75 | 1,583 | 1,914 | 1,904 |
| Temperatura promedio maxima Exterior 26,3 | °C | 26,3 | 26,3 | 26,3 | 26,3 | 26,3 | 26,3 |
| Temperatura interior maxima | °C | 25,702 | 25,649 | 25,736 | 25,466 | 26,002 | 25,985 |
| Temperatura interior minima | °C | 21,702 | 21,86 | 21,611 | 22,382 | 20,851 | 20,901 |
| Diferencia promedio interior | °C | 4 | 3,789 | 4,125 | 3,084 | 5,151 | 5,084 |
| Diferencia maxima interior | °C | 0,598 | 0,651 | 0,564 | 0,834 | 0,298 | 0,315 |
| Diferencia minima interior | °C | 4,598 | 4,44 | 4,685 | 3,918 | 5,449 | 5,399 |
| Promedio temperatura int. respecto al exterior | °C | 2,598 | 2,5455 | 2,6265 | 2,376 | 2,8735 | 2,857 |
| | | | | | | | |
| CONCLUSIONES. RESULTADOS | unidad | Referente 1 | Referente 2 | Referente 3 | Referente 4 | Modelo 1 | Modelo 2 |
| | | THERMO CHIP | HEMSEC SIPS | THE WALL | LP SIP | MUISKAY | PRIMADERA |
| Temperatura promedio minima Exterior 15,8 | °C | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 |
| Promedio temperatura respecto al exterior sube | °C | 1,73 | 1,7 | 1,75 | 1,58 | 1,91 | 1,91 |
| Temperatura promedio maxima Exterior 26,3 | °C | 26,3 | 26,3 | 26,3 | 26,3 | 26,3 | 26,3 |
| Promedio temperatura respecto al exterior baja | °C | 2,6 | 2,55 | 2,63 | 2,37 | 2,88 | 2,86 |

Tabla 16. Resultados simulaciones térmicas.

Fuente: Autor (2017)

Resultados Aislamiento Acústico

Los niveles de aislación de acuerdo a la norma de decibeles admisibles nos indican que el modelo 2 mantiene iguales condiciones que el referente 1 de acuerdo a la tabla 17, aunque dentro de los referentes existen aislamientos con frecuencias superiores, producto de aislantes más densos pero derivados del petróleo. Y entre los modelos experimentales (véase la Figura 25) se observan mejores niveles en el modelo 2, debido a la densidad del cartón y el hermetismo de la composición hexagonal del cartón Honeycomb.

| RESULTADOS SIMULACIONES ACUSTICAS | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|-----------|
| SIMULACION ACUSTICA | unidad | Referente 1 | Referente 2 | Referente 3 | Referente 4 | Modelo 1 | Modelo 2 |
| | | THERMO CHIP | HEMSEC SIPS | THE WALL | LP SIP | MUISKAY | PRIMADERA |
| Espesor panel tricapa | mm | 150 | 110 | 110 | 95 | 118 | 122 |
| Aislante Densidad | Kg/m3 | 30 | 30 | 15K | 15 | 22,32 | 27,4 |
| tableros Densidad | Kg/m3 | 670,00 | 640,00 | 640,00 | 610Kg/m3 | 548,00 | 738,00 |
| | 55 db | 55 db | 55 db | 55 db | 55 db | 55 db | 55 db |
| Niveles de aislacion | hz | 3.150 | 4.500 | 4.450 | 4.700 | 980 | 3.150 |

Tabla 17. Resultados simulaciones acústicas

Fuente: Autor (2017)

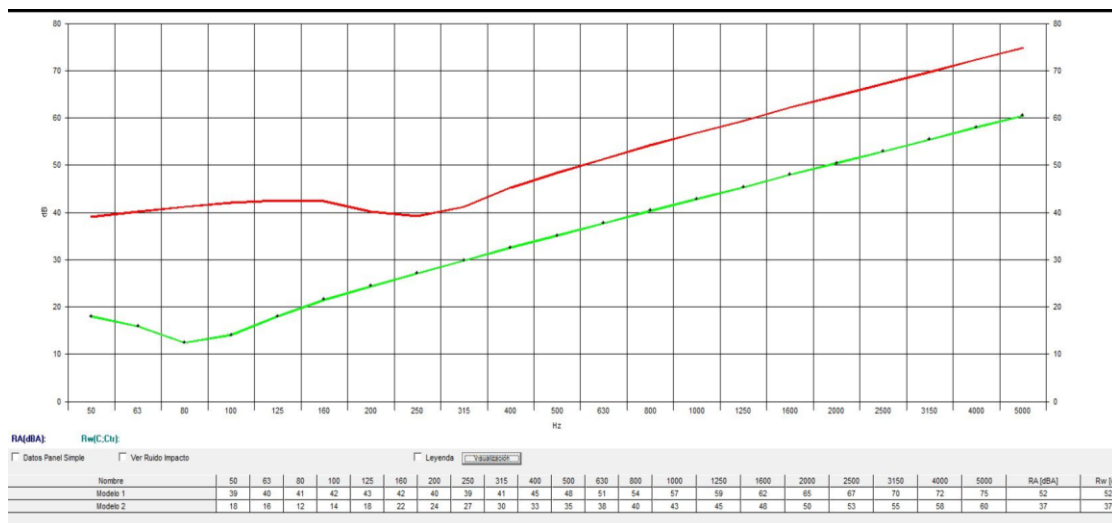


Figura 24. Diagrama de Bode comparativo Modelo 1 y 2, Software DBKAISLA

Fuente: Autor (2017)

Situación actual de la Industria de la Guadua en Colombia

El entorno actual para la industrialización del tiene como protagonistas el marco legal con la resolución 1740 de Octubre 2016 de la ley 99 de 1993 “por la cual se establecen lineamientos generales para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guaduales y bambusales y se dictan otras disposiciones” y las Normas Icontec.” NTC 6100 etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano. Criterios ambientales para productos primero y segundo grado de transformación de guadua angustifolia Kunth.” (véase la Figura 25) Y la auto certificación Forestal FSC. Forest Stewardship Council (Consejo de Manejo Forestal). Entes y normas que garantizan calidad y futuro al proyecto.

Por otro lado, las organizaciones privadas de los guadueros han permitido la integración en la búsqueda de la tecnificación y mejores condiciones socioeconómicas y ambientales.

La fabricación del producto se proyecta en primera instancia para consumo de sus propios habitantes de la zona cafetera y en futuro ampliar su mercado. Con la alternativa de utilizar no solo el material residual sino el reciclado.

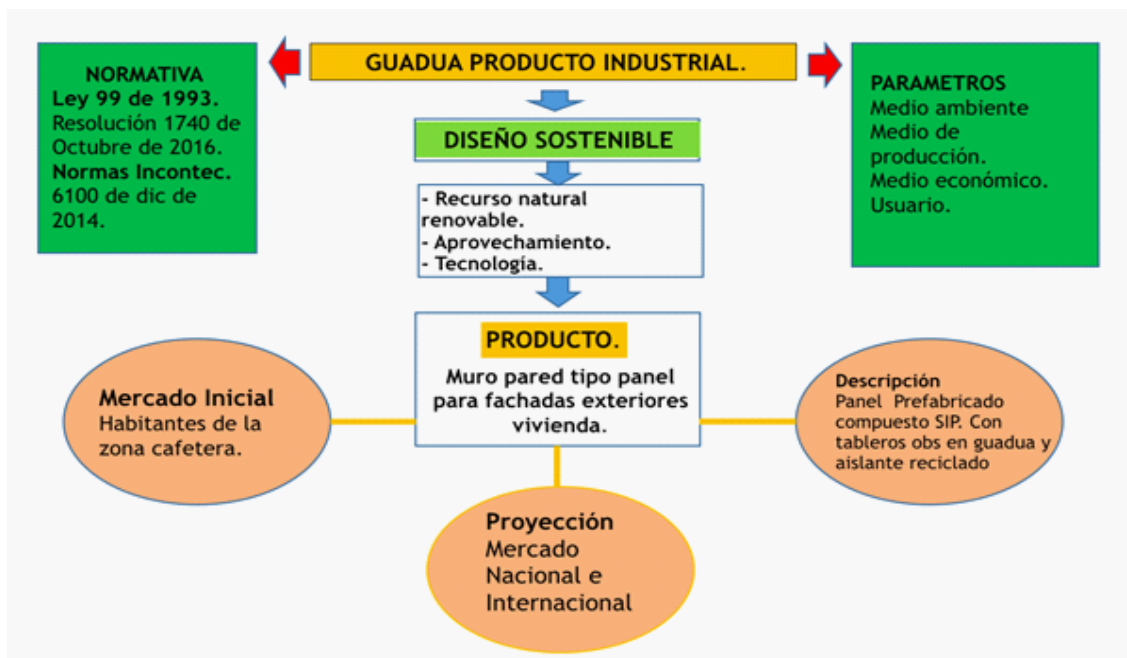


Figura 25. Marco Conceptual Aplicado a la Transformación de la Guadua

Fuente: Autor (2017)

Conclusiones

A partir de los modelos experimentales realizados y de acuerdo a sus resultados de resistencia a la compresión, aislamiento térmico y acústico se confirma que la guadua responde positivamente, demostrando ser apta para la fabricación de paneles SIP con tableros OSB de viruta de BAMBU- GUADUA de nuestra especie nativa *Angustifolia Kunth*. Es importante puntualizar cada aspecto:

La materia prima

Los residuos de guadua seleccionados para la producción de las virutas u hojuelas deben ser de dimensiones de 60 x 25 x 1,5 mm aproximadamente y tener un secado que alcance entre un 4 o 5% de humedad para garantizar su adherencia en el proceso de prensado. Para ello se requiere de un equipo o maquinaria específica simple pero inexistente en nuestro medio.

El Aislante

Y en futuro investigar o plantear alternativa del aislante con materiales reciclados de origen natural renovable que optimicen aún más sus niveles de confort térmico.

Se requiere mayor capacitación en el campo tecnificación para la industrialización de los productos acabados, ya que la gran mayoría vende la materia prima en forma de varas, canoas, latas y fibra y poco en productos terminados.

En cuanto a la fabricación los modelos experimentales y sus componentes se pueden concluir varios aspectos:

El adhesivo PVA. Carpincol 2500 utilizado para la formación del tablero modelo 1, demostró necesitar mayor adherencia. La empresa Pegatex en Colombia trabaja en este tema de investigación, con el fin de solucionar esta condición que sería de menor gasto energético porque maneja plancha o prensa en frío.

Respecto a la Urea Formaldehído, aunque presenta muy buena adherencia y resistencia, continúa siendo un material que así se utilice en mínimos porcentajes es tóxico. Junto a este existen adhesivos de similar composición, con el mismo antecedente. Y que además es necesario para que se produzca su adherencia de las virutas, llevar la prensa a 200 grados de temperatura.

Aislantes

Los elementos aislantes utilizados en cartón arrojaron buenos resultados térmicos y acústicos y con resistencias aceptables.

Protección exterior.

Se hace necesario en cualquiera de los casos el recubrimiento con barnices de protección solar y humedad, debido a los factores climáticos del lugar.

Los tableros OSB.

En La Figura 27 los tableros de arriba hacia abajo que se observan en La figura 26 corresponden a los modelos experimentales dos y uno respectivamente y El ultimo a un tablero OSB importado de virutas de pino y abeto. El modelo dois fabricados en La empresa Primadera SAS, presento La mayor resistencia y dureza aun mayor que El importado, El modelo um fabricado La fabrica Mukiy, aunque SUS fribras presentaron una menor compactacion y rigidez, dejan esclarecer posibilades de mejoramiento en la medida en que se proponga un pegante para las virutas de mayor adherencia.



Figura 26. Composición de los Tableros del Referente y las Propuestas 1 y 2.

Fuente: Autor (2017)

Uniones o empalmes

Las alternativas de modulación, de uniones y empalmes de los tableros se sugieren en madera y aluminio reciclado, buscando de esta manera armonía y funcionalidad entre2 sus elementos que permite acoplamiento a diferentes sistemas estructurales porticados de acuerdo al material.

Agradecimientos.

Agradezco a mi director de proyecto de grado al Arquitecto Claudio Varini por su apoyo constante durante el desarrollo de la investigación e interés en apoyar mi objetivo. Agradezco a mi padre quien amaré siempre que con su ejemplo y buena voluntad me enseñó a alcanzar mis sueños.

A mi madre que con su compañía durante el camino recorrido me dio apoyo inculcando el valor de la perseverancia, la honestidad y el amor a la vida y a nuestros semejantes.

A mi esposa e hijos por su paciencia y comprensión y en especial mi hija por su gran acompañamiento y apoyo durante el proceso de realización del proyecto.

Agradezco la Arquitecta Kaoru Takeuchi Tam, quien desde su desempeño profesional como investigadora de la Universidad me aportó su experiencia, me oriento y me contacto con las personas y entidades necesarias para el desarrollo de mi investigación.

Agradezco a la empresa INDUGUADUA S.A. A través del Jefe Administrativo y de Producción, Francisco Javier Ceballos, Administrador de Empresas, quien me facilitó la materia prima necesaria y sus orientaciones en cuanto al manejo y condiciones de su tratamiento.

Al Arquitecto Fabián Martínez.

Docente e investigación del Sena de la construcción en Bogotá y su Empresa MUISKAY quien con su experiencia me facilitó su fábrica para la elaboración del modelo 1 experimental.

A la Empresa PRIMADERA S.A.S, a través del Ingeniero José Ángel Gutiérrez Bolívar, Jefe de procesos, en el proceso de fabricación del modelo 2 experimental.

A los ingenieros de la Universidad Católica de Colombia, quienes facilitaron su experiencia y equipos para la realización de las respectivas pruebas de laboratorio.

Por ultimo agradezco a todas las personas que compartieron conmigo la maestría en la Universidad Católica de Colombia. A mis amigos, compañeros, docentes por su amistad, compañía y apoyo.

Referencias

- Barreto Castillo, W. (2003). *Evaluación de guadua laminada pegada aplicada a propuesta de reticulado plano*. Trabajo de Grado. Bogotá : Facultad de Artes. Universidad Nacional de Colombia.
- Colorado, A. (s.f.). *La Guadua. Una maravilla natural de grandes bondades y promisorio futuro*. Recuperado el Mayo de 2017, de Revista SIGGUADUA: http://sigguadua.gov.co/sites/default/files/archivos/La_Guadua_Maravilla_Natural.doc.
- Compañía legal Structural Panel. (2011). *Historia SIP panel, Breve historia de los PEE*. Recuperado el Mayo de 2017, de <http://www.structurapanel.com/historia/>
- Decreto 1076 de 2015. (s.f.). (Presidente de la República). Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. *26 de Mayo de 2008*.
- Ecotec. (Septiembre de 2010). *EPS Propiedades físicas - Aislamiento térmico*. Recuperado el Mayo de 2017, de <http://www.ecotecpanama.com/wp-content/uploads/2010/09/EPS-Propiedades-Fisicas.pdf>
- Fernández González, A. (1993). Evolución del mundo tecnológico de los tableros de madera. *Congreso Forestal Español* (págs. 273-282). Madrid: Ponencias y comunicaciones. Tomo IV. Recuperado el Mayo de 2017, de <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/viewFile/3445/3410>
- Giraldo Herrera, E. (2003). Aspectos generales de la guadua angustifolia Kunth. Propagación y manejo silvicultural sostenible. *III Seminario Internacional del Bambú* (págs. 16-29).

- San Felipe: Fundación para la Investigación Agrícola DANAC. Recuperado el Mayo de 2017, de <http://www.mucubaji.com/guaquira/ArchivosAnexos/MBambu.pdf>
- Grupo ISOTEX. (2016). *Soluciones tecnológicas para la construcción*. Recuperado el Mayo de 2017, de <http://www.grupoisotex.com/page/2/>
- Hauser Arquitectura Modular. (s.f.). *Historia de los Paneles Structural Insulated Panel (SIP's)*. Recuperado el Mayo de 2017, de <http://www.hauserperu.com/historia-sip/4592812899>
- Madorrán Armas, H. (2014). *Análisis experimental de los niveles de ruido en el entorno de la calle*. Tesis de Grado. Las Palmas: Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Mejía Gallón, M., & Moreno Orjuela, R. (2013). *Estado del Arte de la Cadena de la Guadua en Colombia 2003 - 2012*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado el Mayo de 2017, de http://www.bosquesflegt.gov.co/sites/default/files/publicaciones/estado_arte_cadena_guadua.pdf
- MW Materials World. (2016). *Panel de cartón nido de abeja*. Recuperado el Mayo de 2017, de Honeycomb: <https://www.mwmaterialsworld.com/es/panel-de-carton-nido-de-abeja.html>
- Oleart Comellas, P. (2011). *Guía práctica para la Sustitución de agentes químicos por otros menos peligrosos, en la industria*. Recuperado el Abril de 2017, de Asociación Española de Toxicología: http://aetox.es/wp-content/uploads/2012/02/Guia_sustitucion_Agentes_Quimicos.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2017). *La producción mundial de madera crece impulsada por la construcción y las energías verdes*. Recuperado el Abril de 2017, de <http://www.fao.org/news/story/es/item/459939/icode/>
- Portal Arquigrafico. (2015). *Paneles OSB*. Recuperado el Mayo de 2017, de <https://arquigrafico.com/paneles-osb-rapidez-y-facilidad-en-la-construccion/>

- Revista Ecohabitar. (2013). La guadua: una maravilla natural de grandes bondades y prometedor futuro. *Ecomateriales*(39). Recuperado el Mayo de 2017, de <http://www.ecohabitar.org/2013/10>
- Rodríguez , M. (2015). *Paneles Estructurales Isotérmicos*. Recuperado el Mayo de 2017, de Paneles Estructurales - Klass Panel: <http://www.klasspanel.cl/paneles.htm>
- Santana, A. (23 de Septiembre de 2015). *Características de los Tableros OSB o de Fibras Orientadas*. Recuperado el Mayo de 2017, de Maderas Santana: <https://www.maderassantana.com/tableros-osb/>
- Secretarías Distritales de Ambiente, Hábitat y Planeación. (s.f.). *Política Pública de Ecurbanismo y Construcción Sostenible*. Recuperado el Mayo de 2017, de Secretaría Distrital de Planeación: http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/SeguimientoPolíticas/Politica_Publica_de_Ecourbanismo_y_Construccion_Sostenible/Documentos/DTS%20PPECS_V7_141209_min.pdf
- Stamm, J. (2016). Conocer el potencial del bambú como material de construcción. *Congreso Mexicano del Bambú*. Popayán: Huatusco.
- Varela Reyes, I., & Chaviano, D. (Junio de 2013). *El bambu: Recurso renovable y sostenible para El diseño y construcción*. Recuperado el Mayo de 2017, de Monografías.com: <http://www.monografias.com/trabajos101/bambu-recurso-renovable-y-sostenible-diseno-y-construccion/bambu-recurso-renovable-y-sostenible-diseno-y-construccion.shtml#Comentarios>
- Weather Atlas. (2017). *Colombia previsión meteorológica e información climática*. Obtenido de <https://www.weather-col.com>